

天文測量学

上册

李鐘明 主編



中国人民解放军測繪学院

1963. 7.

前 言

天文測量学是根据天文大地測量系本科天文測量学教学大綱并遵循少而精的原則編写的。本书可作为教材，也可作为天文測量工作者的参考书。全书分上、下两册。上册为球面天文学部份，主要討論：天球座标、量度時間系統、各种自然现象对天体座标的影响、視位置計算等。下册为实用天文学部份，主要論述：天文測量儀器的結構和調整，測定天文經度、緯度、方位角，時刻的理論和方法，以及成果的归算等。

本书是分章編写，专人审校，集体討論，主編最后整理定稿。上册以1960年我院天文重力教研室編的天文測量学上册为基础，由李钟明同志改編。下册第八、九、十、十一、十二章由李钟明同志編写；第十三、十四、十六章由关兴君同志編写；第十五、十七章由孙秀文同志編写。附录由蔡耀先同志汇编。全书由李钟明、关兴君、孙秀文、王崇华、段潤庚、高礼銘、蔡耀先等同志审校；算例和繪图由陆长春和孙福松同志完成。

本书在編写和审校过程中，虽經多次討論和修改，但由于水平所限，錯誤和不妥之处在所难免。望读者指正。

天文大地教研室 1963.7.

目 录

緒 論

§0-1	天文学研究的对象和目的	1
§0-2	天文学的发展简史	2
§0-3	天文学的分类	6
§0-4	天文测量在大地测量及其他方面中的作用	7
§0-5	太阳系 星系	8
§0-6	太阳系的起源	12
§0-7	克普勒定律	13
§0-8	地球 地球的运动	15
§0-9	月亮 月亮的运动	17

第一章 天球 座标及各座标間的关系

§1-1	天球及其周日視运动	20
§1-2	星空及其主要星座	21
§1-3	太阳的周年視运动	23
§1-4	天球座标的概念 天球上的圈点	25
§1-5	地平座标系	27
§1-6	天体的地平座标的变化	27
§1-7	赤道座标系	29
§1-8	黄道座标系	31
§1-9	地理座标系	32
§1-10	地理座标与天球座标間的关系	33
§1-11	定位三角形及其解算的基本公式	34
§1-12	赤道座标与黄道座标間的关系	36

第二章 天体的周日視运动

§2-1	不同纬度地带天体的周日視运动	39
§2-2	天体的子午经过	40
§2-3	天体的卯酉经过	42
§2-4	天体的大距	43

§2—5	天体的升没	45
§2—6	天頂距和地平經度变化的研究	47

第三章 時間的量度

§3—1	時間量度的基本原則	50
§3—2	恒星日 恒星时	51
§3—3	真太阳日 真太阳时	51
§3—4	平太阳日 平太阳时	54
§3—5	时差	56
§3—6	时差的近似計算式	57
§3—7	民用日 民用时	62
§3—8	地方时与格林尼治时的关系	63
§3—9	标准时 标准时与地方民用时的关系	64
§3—10	历书时 历书时与世界时的关系	66
§3—11	日界綫	67
§3—12	年 月 历法	68

第四章 天文年历, 內插法 时的换算

§4—1	中国天文年历	71
§4—2	內插法 簡易內插法	72
§4—3	每时变量內插法	73
§4—4	高次差內插法	75
§4—5	民用时与真太阳时的换算	79
§4—6	平太阳时与恒星时單位間的关系	80
§4—7	民用日內两个恒星时瞬間的次序	82
§4—8	民用时与恒星时的换算	83

第五章 視差, 蒙气差 光行差

§5—1	引起天体坐标变化的一些原因	87
§5—2	視差 周日視差	87
§5—3	太阳的周日視差	89
§5—4	周年視差	90
§5—5	周年視差对恒星赤經、赤緯的影响	93
§5—6	蒙气差 蒙气差的近似計算式	94
§5—7	蒙气差的微分方程及其积分	97
§5—8	蒙气差表	102

§5-9	光行差	104
§5-10	周年光行差	106
§5-11	周年光行差对恒星赤经、赤纬的影响	107
§5-12	周日光行差	109
§5-13	周日光行差对恒星赤经、赤纬的影响	110
§5-14	周日光行差对恒星天顶距、地平经度的影响	111

第六章 岁差 章动 恒星自行

§6-1	岁差	114
§6-2	岁差对恒星赤经、赤纬的影响	117
§6-3	章动	119
§6-4	交角章动和黄经章动	123
§6-5	章动对恒星赤经、赤纬的影响	125
§6-6	平恒星时与真恒星时	128
§6-7	恒星自行	129
§6-8	恒星自行对其赤经、赤纬的影响	130

第七章 星表 恒星视位置的计算

§7-1	恒星的视位置、真位置和平位置	132
§7-2	白塞耳年	133
§7-3	星表	134
§7-4	恒星位置的绝对测定和相对测定	136
§7-5	基本星表 综合星表	140
§7-6	根据星表计算任一年岁首恒星的平位置	144
§7-7	恒星视位置的计算	146
§7-8	根据天文年历计算恒星视位置	153

緒 論

§0-1 天文学研究的对象和目的

天文学是一门研究宇宙和天体的构造与发展的自然科学，具体说来，它所研究的是：天体在空间的分布和运动，天体的距离和大小，天体的物理结构和化学成分，天体的起源和演化，以及宇宙的构成和它的发展等。

1. 宇宙 对于宇宙的意义，在我国古书中，很早就已经有了明确的解释。例如在战国时代（公元前480—222年），尸佼在他的著作“尸子”里面，就曾经作过这样的解释：“天地四方为宇，往古来今为宙”。实质上，宇就是空间，宙就是时间。所以天文学研究的对象包含时间和空间。

2. 天体 在天文学上一般按性质的不同，把天体分为恒星、行星、卫星、彗星、流星和星云等六大类。但必须指出，由于科学的飞跃发展，现在又出现了人造卫星和人造行星，这些可称之为人造天体。

3. 天文学的实用意义 天文学是研究宇宙和天体的科学，所以它所研究的范围是很广泛的，但它也和其他的自然科学一样，是随着人类社会生活的实际需要而产生和发展起来的。不过它是人类文化发展过程中发展最早的一门科学。因为在原始社会，游牧民族在迁移的时候，他们需要确定方向，于是他们就学会了观察太阳和星辰来辨识方向；从事耕种的农民因需要预先知道季节的到来，以便适时耕种和收割，于是他们学会了观察太阳在中午高度的变化和星空天象的变迁来定四季的交替。所以恩格斯在他的自然辩证法中写道：要研究自然科学各部门的不断发展，应首先研究天文学，因为定时、制历是游牧民族和农业民族所绝对需要的东西。但人类社会越进步，科学越发达，人类与自然的斗争就越广泛和复杂，为了不断征服自然，人们就必须不断地扩充天文学的知识。天文学研究的目的，是为了满足人类社会生活和生产的需要，所以它是具有重大的实用意义。现仅把天文学中最具有实用价值的几点略述于下：

(1) 测定准确的时间 准确的时间在社会生活各方面的活动中是不可缺少的。尤其在有计划地组织起来进行生产的社会主义社会里，准确的时间更显得重要。具有自动化控制的现代工厂，频繁的交通运输，邮电通讯、军事部署、学校、机关、科学研究等都需要有统一的时间。但准确的时间只有依靠天文观测才能得到。

(2) 测定地球上各点的位置和方位角 在社会主义建设的各项工作中，如进行有计划的修建铁路和公路、兴修水利、地质和矿藏的勘探，以及城市的建设等等，都需要知道各地点的精确经纬度和彼此间的方位。其次，对在茫茫大海中航行的海员或在空中飞行的航空员来说，有时他们也需要经常观测天体来确定自己的位置和方向。此外在大地测量、航空测量、重力测量和编绘地图等工作中，也需要按天文方法测定各地点的经纬度和方位角。

(3) 编制天文年历和星表 星表是记载恒星位置的一种天文资料（在第七章讨论）。天文年历除记载恒星的位置外，还记载行星和月亮的位置、天体的动态和日、月蚀的现象等（见

第四章)。天文年历和星表是測繪工作者、航海和航空工作者所不可缺少的資料。它們是经过天文台进行长期的天文观测和計算而編制出来的。

(4) 預告太阳活动对地球的各种影响 太阳是距地球最近的一个恒星，它是一个熾热的气态球体，表面溫度約为摄氏六千度，中心达二千万度。由于太阳内部在高温下不断地进行着氢变为氦的原子核反应，所以它在这种核反应的过程中就不斷地放出巨大的能量。地球上的一切生命都是依靠太阳这种輻射能而生存和延續下去的。太阳不仅放出輻射能，而且当太阳表面上有所变化时还放射出很多的紫外光和带电的质点（叫做粒輻射）。太阳的外部很不稳定，在它的表面上时常出现一些黑斑点，即所謂太阳黑子；有时又出现一些亮的斑点，叫做耀斑；有的地方又产生一些呈现着各种形状的如噴出一股火焰似的突出物，叫做日珥；在太阳大气最外面还有一层溫度竟达一百万度而延伸到高空的暈状物，这叫做日冕。在太阳外部这些黑子、耀斑、日珥和日冕等现象是不稳定的，它們时常互相关联地在变动着，太阳表面上不断进行着各种变化，总称之为太阳活动。

太阳活动的过程与地球上的許多物理現象是有很密切的关系的。比如当太阳黑子和耀斑出现多，太阳活动趋于强烈的时候，太阳輻射的总能量就增加，于是使地球高层大气热量增多，从而引起低层大气的变化，这样就影响到地球表面气候的变化。而且此时太阳的微粒輻射和紫外光也增加，这些东西射到地球时，就引起地球的磁場和电离层的变化，因此使短波无线电訊号产生一种衰退現象而影响了无綫电通訊。由此可知，天文工作者进行太阳观测，掌握太阳表面上各种变化的規律，作太阳活动的預告，这对无綫电通訊、气象預报和农业生产等工作都有很大的帮助。

(5) 直接利用太阳的能量 我們日常用的所謂“能量的来源”，如烧飯用的本柴、煤炭，汽車、飞机、輪船及工厂所用的汽油和煤，或从鈾和釷两种元素的原子核反应而得到的原子能等，都是直接取于地球上的东西。这些能量的来源終究是有限的。所以如何直接利用太阳的能量和探索新的能源，是天文学当前一个迫切的任务。虽然現在已经制造出一些所謂日光机、烘干机 and 冷却机等，能直接利用太阳能量来烧飯或制造冷气。最近也制成了太阳能电池。但这些还不能够广泛地应用，而且在設計和制造技术上还有困难。現在天文工作者与物理工作者正在共同研究，探討直接利用太阳能的最有效的方法。

(6) 帮助人們建立辯証唯物主义的世界观 对宇宙的看法，在人类哲学思想上一直存在着唯物論和唯心論两种不同的观点。所以在天文学上也一直充滿着这两种对立观点的斗争。唯心論者認為：宇宙是精神的，是不可以認識的。相反，唯物論者認為：宇宙是物質的，是可以認識的。因为天文学是研究宇宙和天体的科学，所以它在长期的观测实践过程中，不断地揭开了宇宙的秘密，一次又一次地証實了宇宙是物質的，宇宙是可以認識的。于是有力地打击了唯心論的荒謬观点，使人們不再相信神，对宇宙有一个正确的認識。因此天文学不仅帮助人类向自然作斗争，而且还帮助人們建立正确的宇宙观，在人类思想意識的斗争中起着很大的作用。

§0-2 天文学的发展簡史

由考古学家的发现，知道人类在有史以前很早就有了天象的观察。例如在欧洲中部，在几万年以前人类所住的窑洞里，就曾發現画有大熊星座的痕迹。在古代文化最发达的国家，

如中国、埃及、巴比倫和希腊等，在公元前三千多年就开始了观测天象定时间和制定历法。所以天文学是最早发展起来的科学。

1. 中国天文学簡史 我們伟大的祖国是世界上文化发达最早的国家之一，我国古代在天文学上有过不少偉大的創造和貢獻。远在四千多年以前，我們的祖先顓頊高阳氏（公元前2513—2434年）便开始制造仪器，即相传所謂玉衡旋璣，用来观测日、月、五星的位置，定一年的长短。到尧舜时代（公元前2357—2204年）已确定一年的长短为366日，并参用閏年来配合月亮的运行周期，历法已漸具規模。这种阴阳历調和并用的历法較巴比倫人早了三百多年。在春秋中期（公元前600年），我国就知道十九年七閏的方法，比希腊人发现这种周期早了160多年。在秦代（公元前246—207年）用顓頊历，定一年的长度为365.25日，这和羅馬凱撒（公元前46年）頒行的儒略历所采用的回归年长度相同，但我国早提出了二百多年。我国的杰出天文学家郭守敬（公元1231—1316年）系統地制造了仪器，观测日、月、星辰运行的变化，作为制历是依据，又在四方設立測站二十七处，实测各地节气的早晚，昼夜的长短，以及日蝕和月蝕食分时刻的差异；創立授时历，定一年的长度为365.2425日，比地球实际繞太阳公轉的周期只差26秒，和目前国际公用的格里历采用的一年的长度相同，但格里历于1582年才开始应用，已迟于授时历的制定三百多年了。

我国古代的天文学家除了在上述的制历方面的輝煌成就外，对于星空的划分、恒星位置的測定都作了巨大的貢獻。他們将全天分为三垣二十八宿，各宿各星命有专名，自成一个独立的星座系統。按照太阳在二十八宿的位置，便可測知一年中的季节。战国时代（公元前350年左右）楚人甘德著有“星占”八卷，魏人石申著有“天文”八卷；后人合称这两部著作作为“甘石星經”，这是我国也是全世界最早的記錄恒星位置的星表。自周秦以后，我国对恒星位置的測定历代有人，其中如唐朝的僧一行（公元683—727年），他和梁令瓚制造黃道渾仪，对星宿的位置作較精密的測定。我国把恒星位置标在圖上的星圖，当推后汉张衡所著的“灵宪”中的星图了，可惜原图后世失传。現存的有南宋（公元1184—1196年）黃裳根据元丰年間（公元1078—1085年）的观测结果用石碑刻出的星图，这石碑現立在苏州孔庙，这是世界上最古的石刻星图。

我国古代的天文学家們对天文常数的測定也有不朽的功績。在周髀算經中載有周公和商高的談話，記錄的黃道傾角（黃赤交角）和十九世紀法国数学家拉普拉斯（公元1749—1827年）由理論上所推出的结果相同。晋朝虞喜（公元330年左右）把古代的星宿位置和当时星宿的位置比較，而定出五十年岁差一度，他发现岁差虽然比希腊的天文学家依巴谷（公元前125年）晚了四百多年，但却較精确。七世紀隋朝的刘焯认为岁差七十五年达一度，这与实际情况已相差不多。

我国古代的天文学家对宇宙的看法，大体上可分为盖天、宣夜和渾天三家。盖天一派认为：天是圓的，地是方的，天象石磨一样向左方轉动，日、月向右运行而隨着天向左轉。宣夜派认为：天是没有什么形质的，日、月、星辰浮在太空之中。渾天派的天文学家认为：地是圆形，天包在地的外面，形状和鳥蛋相似，天包地好像蛋壳包蛋黃一样，而轉动不停。渾天論是东汉时代的天文学家和机械制造家张衡（公元78—139年）所創立的。在同一时期的希腊著名天文学家托勒玫也有这样的观点，认为地球是宇宙的中心，每一昼夜整个宇宙繞地球旋轉一周。这种以地球为宇宙中心的宇宙观，曾长期地支配着人們，一直到1543年才为波兰天文学家哥白尼所推翻。

此外，我国对日、月食的记录及推算，太阳上黑子的记载，彗星的记录等，都比世界各国开始早得多。

我国古代的天文学是有很大的成就的。尤其到元朝的时候，由于吸取了西方的不少经验，当时在制历和天文仪器制造方面都有了很大的发展，并设立了很多观测站，此时可说是我国古代天文学最兴盛的时代。但从元朝郭守敬之后一直到明末的三百多年间，我国天文学就没有显著的进步了。在明清时代，由于提倡科举，利用八股文来愚弄人民，于是不能很好地继承前人的辉煌成就而加以发扬；在解放前的近百年来，更受着帝国主义和国民党反动派的残酷压迫和奴役，国民经济遭受到破坏，社会生产力停滞不前，民不聊生。在这种情况下，天文学自然也不可能有所成就；在这期间，帝国主义国家为了实现其文化和经济侵略，曾先后在我国建立了上海徐家汇天文台、佘山天文台和青岛观象台等。1928年前中央研究院天文研究所成立，1934年在南京建立紫金山天文台。在天文教育方面，首先在济南齐鲁大学成立天算系，1929年广东中山大学也成立了数学天文系。并建立了中山大学天文台。但在抗战期间，各天文台的仪器设备都遭到不同程度的破坏和散失，工作经常陷于停顿，解放前全国实际从事天文研究和教学的人员也只有三、四十人。

自从中国人民在中国共产党和毛主席的英明领导下，推翻了国民党反动派的黑暗统治，成立了中华人民共和国以后，我国的国民经济由恢复而走上了飞跃发展的道路。同时为了满足经济建设和国防建设的迫切需要，天文学也和其他学科一样，在这短短的十多年中就取得很大的成就。

十多年来，天文工作无论在数量和质量上都有了迅速的发展。紫金山天文台首先修复了主要的天文仪器，如60厘米反射望远镜、20厘米折射望远镜等，并增加了很多新的仪器设备和研究技术人员，使得研究工作有了很大的进展。上海徐家汇观象台（现改为上海天文台）也增加了很多授时工作的新式仪器设备，如石英钟组、光电子午仪和超人差棱镜等高仪等。时号的稳定度也有很大提高，充分满足了各部门的需要。佘山天文台开展了照相天体测量的观测和研究，并进行了小行星和太阳黑子的观测。为了研究地极的变化，在天津建立了纬度站。北京天文台也陆续开始了用色球望远镜作太阳活动的观测。用3.2厘米抛物面射电望远镜观测太阳黑子辐射和偏振，同时进行了部分的授时工作。

此外，在野外天文测量方面也取得了很大的成就，在技术设备上已经获得了很大改进，十多年来，完成了数量非常巨大的外业工作，在观测结果的精度方面也已完全达到了国际标准。由于在全国分布了很多天文基本点，所以我们可以从这些基本点上测定人仪差，以减弱人仪差的影响。

当然，这只是一个开端，但我们完全相信，在党的领导和三面红旗的光辉照耀下，鼓足干劲、加倍努力钻研，我国的天文学一定将会得到更大的成就，以满足祖国建设的需要。

2. 外国天文学的发展概况 在古代，巴比伦、埃及、希腊等古国，在天文学上也有过很多的贡献，如巴比伦人很早就有日食和月食的记录，在公元前六、七世纪他们就发现了日、月食的周期而能预报日、月食的发生。埃及人在公元前三千多年就观测太阳定一年为365天。希腊人在巴比伦和埃及天文学的基础上更发展了一步。公元前六世纪，毕达哥拉斯便断言地球是球形，位于宇宙的中心。到了三世纪后，希腊天文学家托勒玫，总结了希腊天文学的各种成就，并进行了大量的观测，但他仍认为地球是宇宙的中心。当时占统治地位的罗马教廷，为了维持其反动的统治，于是大加支持和宣传托勒玫的地心体系。所以在欧洲长期地被这种

地心說所支配。直到波兰天文学家哥白尼（公元1473—1543年）經過长期的观测和研究，发表了他的“天体公轉論”以后，才把它推翻。哥白尼认为地球是动的，它和其他的行星一样繞着太阳运行，建立了以太阳为中心的日心体系。他的学說在人类思想上引起了一次伟大的革命，解除了地球静止这一假設对科学发展上的阻碍作用。

哥白尼的学說遭到了当时教会的迫害，因为它違反了“聖經”上的教条。教会把“天体公轉論”列为今后要改正的禁书，但为当时的天文学家們所拥护。意大利学者布鲁諾，因宣揚哥白尼的学說而于1600年2月17日在羅馬被燒死。

在17世紀，意大利物理学家伽利略（公元1564—1642年）第一次用自造的望遠鏡观测天体。看到了月亮、木星、土星等的一些表面現象，并发现金星也有盈亏，于是更証明了哥白尼的地动說是正确的。他以事实駁倒了地心說，更暴露了教会的无知。因此在1633年他也受到反动教会的迫害。德国天文学家克普勒（公元1571—1630年）也是哥白尼理論拥护者之一，他在十七世紀初期根据丹麦天文学家第谷（公元1580—1600年）的观测資料来改进哥白尼的理論。他仔細地研究了火星的运动而发现了行星运动三大定律，指出行星的軌道不是正圆而是椭圆，行星的运行速度离太阳愈近則愈大，行星繞太阳的运动与两者間的距离有关。克普勒虽然改进了哥白尼的理論，但只是說明了行星运动的几何形式，未能說明为什么会发生这样的結果。到十七世紀末，英国的数理学家牛頓（公元1642—1727年）发表了他的万有引力定律，認為所有的物体之間有互相吸引的力存在，力的大小与互相吸引物体的质量成正比而与物体間的距离的平方成反比。对行星的运动作了物理的解釋，从而給理論天文和天体力学奠定了基础。在这一时期，由于航海和測繪等工作的需要，于是建立了有較大望遠鏡的天文台，如巴黎天文台和格林尼治天文台等在1667年和1675年相继建立起来。

在十八世紀，由于利用了望遠鏡进行观测，并发明了时钟，大大提高了測定天体位置和地面点經、纬度的精度。于是天体測量学迅速地发展起来。天体力学也有了很大的进展。至十八世紀后期，对恒星有了进一步的研究，从而給恒星天文学的发展开辟了道路。

在过去这一段漫长的时期內，天文学的研究仅局限于天体的运动方面。到十八世紀后期和十九世紀初，西歐一些新兴的資本主义国家，为了配合其生产力的迅速发展，需要进行各方面的科学技术的研究。天文学在这时期，除了研究天体位置和运动的天体測量学、天体力学和恒星天文学等繼續向前发展外，在十九世紀最重要的是天体物理学的建立，开始了对天体的本质进行研究。例如德国的物理学家克希霍夫于1859年发现光譜分析，并找到太阳光譜的解釋，这給天体分光光学奠定了基础。

十九世紀末期和二十世紀初，是天文学迅速发展的时期；尤其二十世紀以来，新的天文仪器不断出现，其他科学的进步，更加速了天文学的迅速前进。例如大型望遠鏡的造造、射电望遠鏡的发明等，为天文观测創造了有利的条件。原子物理学、量子力学、无綫电学等的发展又为天文学提供了有力的理論工具。电子計算机已开始应用于天文計算工作上。光电或摄影等自动化观测方法亦已普遍地用于实际。新的計时仪器（石英钟、原子钟等）的制造成功，大大提高了授时的精度。

自从1957年以来，苏联陸續发射了人造卫星和宇宙火箭，这給天文学进一步研究宇宙空間开辟了无限广闊的道路。近年来已利用火箭把自动控制的科学仪器带到高空去攝取太阳短紫外区光譜和日面的照片，并利用人造卫星和宇宙火箭进行观测太阳、月亮等。

§0-3 天文学的分类

从上面两节的叙述，我们可以看出，随着人类社会生产力的发展和人类社会实际的需要，天文学不断地扩大它的研究范围，因而逐渐地分为许多专门的学科，天文学按照研究的目的和方法的不同可分为下面几个主要科目：

1. 天体测量学 研究精密测定天体位置的方法，它又分为下面三个学科：

(1) 球面天文学 直观地把星空看成是一个理想的球，所有的天体都同在这个假想的球面上，然后运用球面三角和其他数学方法，来研究如何确定天体在这个假想球面上的位置和运动，并研究由于各种原因(大气折射、视差、光行差、岁差、章动等)所引起的位置变化。同时也研究有关时间的问题。球面天文学是其他天文学科的重要基础。

(2) 实用天文学 研究天文测量仪器的构造、使用方法和天文测量的方法，观测结果的整理和计算等问题。它也研究测定准确的时间和测定地面各点的地理坐标和某一方向的方位角。但在陆地、海洋或在空中进行天文观测所用的仪器和方法各有不同，故实用天文学中又分为大地天文学、航海天文学和航空天文学。

球面天文学与实用天文学有时合并称为天文测量学。

(3) 方位天文学 利用专门的天文仪器精密测定天体的位置，并利用观测结果编制出各种恒星位置表(星表)，以供其他天文学科之用。

2. 天体力学 根据万有引力定律从理论上研究天体在空间的运动规律，天体轨道的计算方法，以及从数学上讨论天体由于自转而具有的形状等。

3. 理论天文学 研究太阳系的行星、彗星及其他天体对太阳的运动规律，根据天体力学推算得各天体的轨道要素来计算各天体在某一时刻的位置。并推算日月食和编制天文年历。

4. 天体物理学 研究天体的物理结构及其化学成份，以及它们的亮度、温度、表面和大气的性质等。它也研究星际空间的弥漫物质。这是近代天文学中范围最广的一门学科，所以它又分为下列几部分：

I、普通天体物理学 按研究目的和方法的不同又分为下面几门学科。

(1) 天体摄影学 研究拍照天体的方法和直接由相片研究天体表面的模样，并根据照片计算天体的位置。

(2) 天体光度学 利用摄影、光电效应等各种方法测定天体的亮度。天体光度测量不仅可以用来研究天体的距离，而且对宇宙的结构和恒星的演化等的研究都有很大的作用。

(3) 天体光谱学 用摄谱仪摄取天体的光谱，根据光谱研究天体的运动速度、距离、温度、压力和化学成分等。

II、理论天体物理学 主要是研究星际空间的弥漫物质、恒星以及太阳的大气和内部的结构等。

5. 射电天文学(无线电天文学) 这是在无线电方位学的基础上发展起来的一门新兴学科，也是无线电物理学和天体物理学相结合的产物。它是用无线电的方法来研究天体的无线电辐射(射电辐射)，也用雷达方法研究太阳、月亮等。由于无线电波能通过云雾，而光波不能，所以射电天文学利用一种高方向性的超高频接收设备，就能够在任何的气候条件下，进

行研究由天体发出来的射电辐射。因此，射电天文方法具有光学天文方法所不具备的优点，射电天文学已成为研究太阳和恒星的结构，星际物质的分布和宇宙射线的起源等问题的强有力的方法。

6. 恒星天文学 它是天文学中研究各星系的结构和发展的一个部门，它主要是根据许多的观测资料，运用统计的方法研究银河系内恒星的分布和运动规律，银河系的形成、结构和其他星系的结构等。

7. 天体演化学 研究各种天体和各种星系的起源和发展等问题。

8. 普通天文学 它不是一个独立的分支，只是对天文学其他部门所获得的结果作简要而系统的叙述和介绍。

天文学为了便于研究而分成许多部门，但各部门之间都有着密切的联系。例如理论天文学有很多问题与天体力学有关，球面天文学有些问题又属于实用天文学的范围，射电天文学与天体物理学都研究太阳的无线电辐射等等。

§ 0-4 天文测量在大地测量及其他方面中的作用

天文测量学和大地测量学有着密切的关系。在全国性三角网中的天文测量工作和大地测量工作是一个不可分割的整体。天文测量的观测纲要及观测结果的精度，是依据大地测量的目的和要求而提出的。大地测量的目的在于对全国性的测图提供基本控制资料，以及为推算地球的形状和大小提供资料。但无论完成那一项任务，都需要有天文测量工作。因为要计算大地测量的成果，必须采用一定的旋转椭圆体作为参考椭圆体。当决定采用某一椭圆体后，必须选择一点将此椭圆体在地球体内定向，这样的点称为大地原点。在这一点上需要进行天文测量来确定其大地坐标和方位角，作为全国性三角系的起算数据。

又为了对三角系的角度观测进行有效的控制，消除角度观测中系统误差的影响，以及消除依角观测逐次连接起来的广阔三角系中各部分定向误差的累积，必须在每一基线扩大边的两个端点上进行经度、纬度和方位角的测定。同时为了给天文重力水准测量奠定基础，也就是说为了给推算地球体对所采用的参考椭圆体的形状和它的大小奠定基础，在一等三角网基线间的中间三角点上进行经度和纬度的测定。

此外，在没有建立大地控制网的地区，可以应用天文点作为控制点进行十万分之一和小于十万分之一的比例尺测图。由于天文仪器的改进和垂线偏差的可以测算，由于航空摄影应用于测图工作上，使采用天文点作为小比例尺测图的控制，能迅速地满足用图的需要。当然更为有利的是采用雷达测量建立小比例测图的地面控制。但在这个方法中仍然需要天文测量工作与之配合。

由于任务和要求不同，天文测量分为四个等级：

1. 一等天文测量 在一等三角网的基线网的扩大边两端点上和相距约 70—100 公里的中間三角点上进行。在一等导线的交叉处和中间点上进行，也在二等三角网中央的起始边的两端点上进行。它的目的在于对三角网的角度观测进行有效的控制和系统误差的消除。在于对决定参考椭圆体在地球体内的定向和决定地球形状及大小提供资料。因此一等天文测量的精度按细则规定：

緯度 $\varphi \pm 0''30$

經度 $\lambda \pm 0''02$

方位角 $a \pm 0''50$

2. 二等天文測量 在二等三角鎖的基綫网扩大边的兩端点上進行。它的基本任務在於檢查角度觀測，提高二等三角鎖各點坐標的精度，它的精度按細則規定：

緯度 $\varphi \pm 0''40$

經度 $\lambda \pm 0''05$

方位角 $a \pm 1''00$

3. 三等天文測量 它的目的是在還未敷設一、二等三角系的地區測定天文點，作為比例尺不大於十萬分之一測圖的控制點。還在於供給未與全國性三角系連接的三等三角鎖网的起算坐標和方位角。它的精度按細則規定：

緯度 $\varphi \pm 0''60 - \pm 1''00$

經度 $\lambda \pm 0''06 - \pm 0''10$

方位角 $a \pm 5''00 - \pm 30''00$

4. 四等天文測量 它是一種概略的天文測定，目的在於測定概略的天文點用來進行地理調查及其他特殊工作之用。

為了保證航海和航空的安全，除運用無線電導航外，艦船在远航中仍須經常借天文觀測來決定船位，同時飛機在長距離的飛行中也須借天文觀測來決定飛行的方向和位置。

由上面的敘述，我們可以知道，天文測量的主要任務，是測定地面點的經度、緯度和地面某一方向的方位角。這也是本書實用天文部分所論述的主要內容。

§0-5 太陽系 星系

一、太陽系 自十六世紀哥白尼的天體公轉論發表後，又經過長期的觀測研究，才肯定了人類所栖息的地球只是太陽系中的一個成員。太陽系是以太陽為中心，由九個大行星、千餘個小行星、彗星、流星和圍繞行星運行的衛星等所組成，它們都受太陽的引力作用而繞太陽旋轉。

1. 太陽 太陽是一個巨大的熾熱氣體球，也是離地球最近的一個恆星，它的直徑約為140萬公里，比地球的直徑約大109倍，它的體積約為地球的130萬倍，它的质量約為地球833400倍，比太陽系全部行星的质量的總和還要大700倍。

2. 行星 按照距太陽由近到遠的排列，則九大行星是：水星、金星、地球、火星、木星、土星、天王星、海王星和冥王星。它們都是由西向東繞着太陽運行。這種運動稱為公轉，同時它們各繞着自己的旋轉軸而旋轉，這種轉動稱為自轉。行星公轉的軌道差不多在同一平面上，而且近於橢圓形。行星中最大的是木星，它的半徑等於地球的11倍，其次是土星、海王星、天王星，地球居第五位，水星最小。除九大行星外，在火星和木星兩軌道之間還有1600多個小行星，它們也繞着太陽旋轉，其中最大的是谷神星（半徑為384公里），最小的半

徑只有半公里。

下表(表0—1)列出太阳系主要天体的距日距离、公轉和自轉的时间以及其他一些特殊数据。表中公轉时间以日或年为单位,自轉时间以时、分或日为单位。距日距离以日地平均距离149,500,000公里(称为一个天文单位)为单位,其他各栏内的数据一律采用地球的相应量为单位。

表0—1

行 星	距 日 距 离	公轉周期	自 轉 周 期	直 徑	质 量	比 重	卫星数	代 表 符 号
水 星	0.39	88日	87日23 ^h 16 ^m	0.38	0.05	1.90	0	♿
金 星	0.72	225日	11日	0.95	0.81	0.93	0	♀
地 球	1.00	1 年	23 ^h 56 ^m	1.00	1.00	1.00	1	♁
火 星	1.52	1.88年	24 ^h 37 ^m	0.52	0.11	0.74	2	♂
小行星	2.80	—	—	—	—	—	—	—
木 星	5.20	11.86年	9 ^h 50 ^m	10.96	318.2	0.24	12	♃
土 星	9.54	29.46年	10 ^h 14 ^m	9.04	95.3	0.13	9	♄
天王星	19.19	84.02年	10 ^h 48 ^m	3.72	14.5	0.28	5	♅
海王星	30.07	164.79年	15 ^h 48 ^m	3.37	17.1	0.45	2	♆
冥王星	39.52	248.43年	—	0.46	0.3(?)	0.33	0	♇
太 阳	—	—	25日	109	332000	0.26		☉

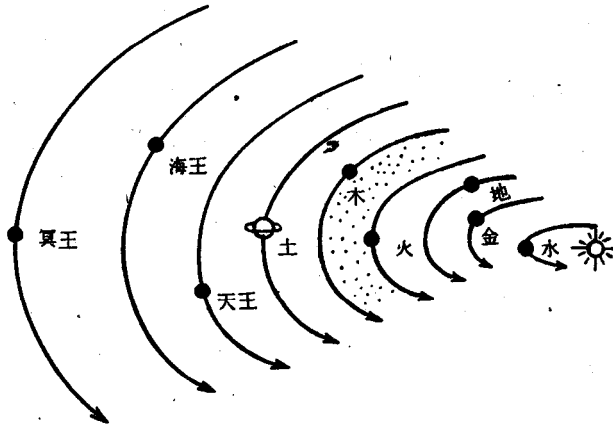


图0—1

3. 卫星 环绕行星运行的卫星，以木星为最多，共有十二个。土星有九个，其中有一个为全太阳系卫星中最大的，土星还有一个由许多小固体质点组成的光环。天王星有五个卫星。火星和海王星各有两个。地球只有一个——月球。金星和水星没有卫星。冥王星现在还没有发现卫星。

月球距地球 384,000 公里，为地球半径的六十倍。它的质量约为地球的八十一分之一，半径只有地球的四分之一。月球上有很多山，大部分呈园环的形状，叫做环形山。它表面上没有空气和水。

行星和卫星都是固态而本身不发光的球体，它们发射的光是反射太阳光而成的。

4. 彗星 彗星的形状比较特殊，我们所见到的彗星大多数后面都拖着一条长长发光的尾巴。彗星的物质结构目前还没有弄清楚，尚停留在假设阶段。例如不久前惠伯提出的“冰块假说”。他认为彗星是由各种气体（甲烷、氨、二氧化碳等）凝固而成的冰块组成。在冰块中还有一些固体的金属和尘粒质点。当它接近太阳时，由于受到太阳光的强烈辐射，所以冰状物质就向四周挥发出气体来而开始发光。因此就其外表而言，中央部分的亮度强一些，愈向边缘愈弱。中央明亮部分看起来好像是雾中的星一样，称它为彗核。而包围核的雾状物质叫彗发。核和发合成为彗星的头部。头部的云雾状物质向一方延伸而成为尾部，它愈离开头部愈远则光愈弱，象烟柱一样看不到什么明确的边界。彗尾总是朝着和太阳相反的方向延伸。所以彗星离开太阳的时候，是以尾部在前面而运行着（见图 0—2），当它离开太阳很远的时候，它的尾部不见了，而成为一个朦朦胧

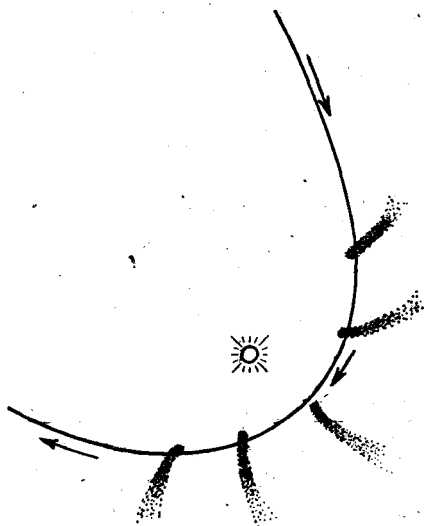


图 0—2

的圆点。这是因为彗星在走近太阳时，被蒸发出的发光气体物质，受到太阳光的压力作用而被推向和太阳相反的方向延伸而成为彗尾。所以彗尾始终是背向太阳的。彗星的体积非常庞大，有的头部比太阳还大，尾部一般长达数千万公里，甚至达几万万公里，宽度和厚度也达几百万公里。但彗星的质量却异常微小，当它接近某一行星时，不会对这行星引起任何的扰动。彗星中最大的密度也只有空气密度的十万分之一。

彗星的轨道是拉得很长的椭圆。许多彗星要经历数万年或数十万年才循它的轨道运行一周，但有的彗星却只经过几年或几十年就运行一周，这是所谓周期彗星。最著名的周期彗星如哈雷彗星，约七十五年运行一周，这颗彗星出现的最早的一次记录，是“春秋”上载的“鲁文公十四年（公元前 611 年）秋七月有彗进入北斗”。最近一次出现是在 1901 年 5 月。下一次将于 1986 年回到太阳附近来。

5. 流星 浮游在行星际空间的无数微小的尘粒（宇宙尘）叫做流星体。它们也在太阳的引力作用下循着各种轨道在运行。当地球运行穿过它们中间时，它们有些就会以巨大的速度撞入大气层，和空气摩擦生热而发光，一闪即灭。这种在地球大气层中的发光体就是通常所称的流星。在晴朗无月的夜晚，每一小时内用肉眼平均可看到 6—15 颗流星，用望远

鏡或无线电方法則会发现得更多。大多数流星在 130 到 110 公里的高度上就开始发光，在 80 公里高空消灭。

当地球运行到与成群的流星体相迁时，在天空的某一部分就突然有很多的流星出现，好像下雨一样，于是出现所谓流星雨。

如果流星体很大，在它还没有燃烧完之前，而被空气阻力减低了它的运行速度，最后在地球引力作用下坠落到地面上来，这种流星体称为隕星。隕星有大有小，大的有几吨到几十吨重，例如在南非洲戈比地区就找到一个約 60 吨重的隕星。

太阳系在空間的位置不是不变的，全系所有的天体都随着太阳以每秒約 20 公里的速度向織女星方向运动。

二、星系 恒星在空間組成各种大大小小的集团，有八、九顆星聚在一起的，称为聚星。有十顆以上以至几万顆星在一起的，称为星团。如金牛座的昴星团，共有 280 顆星，但肉眼只看到七顆較亮的星，故又有“昴星团七姊妹”之称。有包括几十亿到一千亿以上顆星的更大的恒星集团，称为星系。

1. 銀河系 在无数的星系中，有一个包含我們太阳系在內的星系，称为銀河系。它約有一千亿顆以上的恒星。此外还包括了很多由气体和尘埃組成，看来象云雾状的星云。銀河系的恒星密集在一个扁的圓盘狀的範圍內。它的形状好象一鉄餅。如图 0—3 所示。延伸最长的就是我們在夏夜所看見的銀河。銀河系的直徑約为十万光年（ $1 \text{ 光年} = 9462 \times 10^9 \text{ 公里}$ ，約十万亿公里），厚度約一万光年。太阳系位于銀河系离中心約 27000 光年靠近边缘的地方。

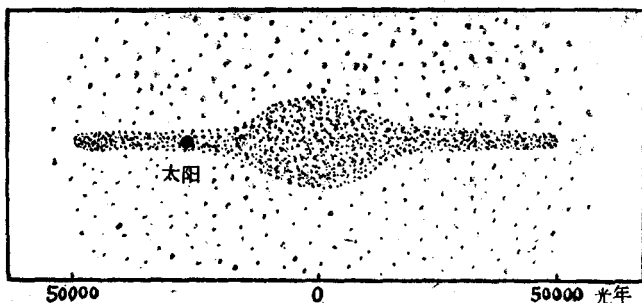


图 0—3

銀河系內的所有恒星都在以不同的速度、不同的方向运动着；同时銀河系本身也在旋轉着，太阳系所有成員又跟着太阳以每秒約 250 公里的速度环绕銀河系中心在旋轉，約需两万万年轉一周。由此可見，銀河系是非常庞大的。但它只是千千万万个星系中的一个。

2. 河外星系 除我們太阳所在的銀河系外，现在还观测到许多和銀河系相类似的星系，称之为河外星系。这些星系都距离我們很远，仙女座大星云是离銀河系最近的一个星系，其距离約为 150 万光年。目前用最大的望远镜，已經可以看到几亿光年以外的河外星系，现在能見到河外星系已在一亿个以上。今后若制造出更大的望远镜，人們便能观测到更远更多的河外星系。

河外星系在空間的分布，也象恒星一样，組成各种大大小小的集团。有两个靠近在一起的成为双重星系。有几个或十多个在一起的組成了多重星系。有一百到一千个在一起的大集团称为星系团。如离銀河系七亿光年的北冕座星系团包含有四百个星系。目前我們所能看到的所有河外星系（包括銀河系）又組成了一个巨大的星系集团，称为总星系。

由上可知，太阳系的范围已不小，但它只是銀河系的一員，而銀河系又仅是总星系中的一个星系，总星系也仅仅是宇宙的一小部份。宇宙是无限的，我們所看到的宇宙范围将随着科学的发展而不断扩太。

80-6 太阳系的起源

太阳系的起源是怎样的？从十八世纪起就有很多天文学家、数学家、物理学家、哲学家想过这个问题。他们也提出过各种各样的学说试图说明这个问题。第一个利用过去的所有天文资料来建立太阳系形成的科学假说的是法国的动物学家毕尤奉。他在1745年发表了关于太阳系由灾变形成的灾变假说。他认为宇宙中原有一个灼热不动的太阳，后来由于一颗庞大的彗星，几乎沿着太阳表面的切线方向朝太阳飞驰而来，给原始太阳一个冲击。由于这一冲击，使太阳开始绕着自己的轴转动起来，同时从太阳碰掉了一些炽热的物质，这些物质有一部分落回太阳上去，其中最大的几部分则成为外面包着一层气体的炽热球体绕着太阳运转。后来逐渐冷却凝固而成了行星。

毕尤奉的灾变学说刚一发表便受到另一些学者的批判，其中有法国数学家拉伯拉斯（公元1749—1827年）。拉伯拉斯在1796年发表了他的星云假说。依据拉伯拉斯的说法，最初宇宙间有一团温度很高弥漫在现今冥王星轨道以外的气体星云，它宛如一个固体物质由西向东旋转。开始由于热的膨胀性和它本身引力的收缩作用互相平衡，形态保持不变。后来热量逐渐消失，星云的体积慢慢缩小，旋转的速度因而增加。到了某一时期，赤道部分因剧烈的旋转而产生离心力。在这种离心力的作用下，星云赤道部分就脱离本体而成为旋转的环状物。但这个环的结构并不均匀，形状也不稳定，所以后来便发生破裂，分裂成许多部分，彼此互相吸引着。结果其中最大的部分将其他部分集结而产生现在的某一行星。星云本身仍继续缩小，重复着这种分裂，于是产生第二个第三个行星等。卫星也是由这种演变从行星分裂出来而形成。

拉伯拉斯的星云假说是第一个比较完善的天体演化学说，在人类文化史上起过很大的作用。后来随着观测仪器和天文学的发展，逐渐发现太阳系中的某些现象不能用拉伯拉斯的假说来解释或者发生矛盾。假如依据拉伯拉斯的假说，所有的行星和卫星都是向同一方向运行的。但侯失勒（公元1738—1822年）确定出天王星有两星卫星是朝着相反的方向运行。后来又发现其他的行星如海王星、木星等也有反方向运行的卫星。更难于解释的是依照拉伯拉斯的说法，质量占整个太阳系质量百分之九十九以上的太阳的旋转，应当比现在看到的快一万倍。此外，假设星云是一团极其稀薄的炽热气体，而能象一固体物体一样旋转也是没有理由的。

当拉伯拉斯的假设迁到困难时，英国的物理学家秦斯在1917年又提出了一种流行过几十年的新的假说。他的假说是一种极端的灾变论。按照秦斯的说法，在几十万万年以前，太阳曾在另一颗和自己相同的恒星旁边经过，这颗恒星对太阳引起了巨大的潮汐，在太阳朝着这颗恒星的那一面的潮汐特别猛烈，结果有一股炽热的气流从太阳表面喷出来，奔向那颗恒星。这样被吸引出来的气体，后来分裂成个别的气团而慢慢地形成了行星。

事实上，恒星的距离是相距得非常遥远的，说它们走得那么近，以至于会从它们的表面有物质抛出来，那是完全不可能的。何况在星系里每一颗恒星都是在自己的轨道上绕星系中心而运行着。而且在太阳表面有六千多度的高温，即令有一股物质被吸引出来，也会立即分散在宇宙太空之中，绝不可能凝结而成为行星。秦斯的灾变论在科学上是毫无根据的，因为它是建筑在偶然的事件上，而不是从有规律的自然现象出发的。