

高等学校教学用书

普通天文学

(地学用)

朱光华 冯克嘉 彭望琰 编著



北京师范大学出版社

高等学校教学用书

普通天文学

(地 学 用)

朱光华 冯克嘉 彭望球 编著

北京师范大学出版社

责任编辑 李桂福

高等学校教学用书

普通天文学

(地学用)

朱光华 冯克嘉 彭望霖 编著

*

北京师范大学出版社出版

新华书店总店科技发行所发行

中国科学院印刷厂印刷

开本: 850×1168 1/32 印张: 11 字数: 268 千
1990 年 10 月第 1 版 1990 年 10 月第 1 次印刷
印数: 1—2 000

ISBN 7-303-00978-7/P·5

定价: 2.80 元

前 言

本书可作为大学地理系本科生基础课教材，也可供有关地学专业开设天文选修课使用以及用作与《地球概论》相近课程的教学参考书，还可供中学地理教师、课外天文小组辅导员参考。

北京师范大学地理系从1950年起一直开设普通天文学课程，一些院校有关地学专业也相继开设了普通天文学。在教学过程中，深感教材缺乏，由于已有的专业用普通天文学教材结合地学有关的内容和进展较少，难以满足地学有关师生的需要。为此，着手研究编写地学用普通天文学教材。

如何使普通天文学突出地理系的特点和需要确是值得研究的问题，在过去的多年教学中，教学内容几经变化，在总结教学经验的基础上，根据科学发展趋向及毕业生的实际需要，我们认为，作为地学用的普通天文学，除以天文学作为基本内容外，应突出以下特点：既适应中学地理教学和指导中学天文课外小组的需要，又考虑到近年来天文、地学交叉学科的发展，为此本教材突出了天文学与地学的联系，介绍了与地学有关的天文学新成就，并重新制定了内容体系。全书内容划分成四大部分：

1. 在讲授球面天文基础知识的基础上，增加了近代实用天文测地知识。
2. 将太阳、太阳活动、日地空间探测成果与重要的地球物理现象相联系。
3. 在阐述太阳系基本知识基础上，将现代行星科学成果与地球作比较论述，以求对地球的起源、演化有更深入的了解。
4. 通过对地球空间环境的阐述，分层次地介绍了宇宙中各类

天体,并阐明了天体演化与元素起源。

上述教学体系,既保留了普通天文学的学科自然体系(即:天文坐标、天体视运动、时间计量、太阳、太阳系、恒星、星系、天体演化),又突出了与地学的联系,对以前普通天文学中缺少的部分有所补充。在编写过程中,注意了前后概念的衔接,以适应作为教科书的特点。新增加的内容,如“天文学在大地测量中的应用”、“现代天文测地技术介绍”、“日地关系”、“比较行星学简介”、“元素起源”等,都列为专节介绍,如果在教学过程中,不讲这些内容,即使将这些部分整段(节)删掉,也不致影响基础内容的前后联结。

本教材建立在高中及大学低年级的教理基础上,叙述方式深入浅出,尽力避免繁琐的公式推导。

本书由天文系朱光华、冯克嘉和地理系彭望琮编著,绪论和第二章由冯克嘉编写;第一章由彭望琮、朱光华编写;第三章由朱光华、彭望琮编写;第四章由朱光华编写。

本书在编写过程中曾得到天文、地理两系教师的帮助,本书大纲在天文系基础天文教研室中讨论和修改过多次,一教研室主任杜昇云副教授对本书的编写给了大力支持并提出了重要的意见;在总结教学实践经验、对教材进行修改的过程中,地理系张如意教授、郭瑞涛副教授、天文系堵锦生副教授等都对教材的修改提出了宝贵的意见;北京师范大学出版社对本书出版给以热情的帮助;地图出版社王淑华等四位同志为本书绘制了插图,在此一并致谢。

改革教学内容和教学体系、如何编写一本适合地学用的普通天文学是一个新的课题,在此仅作初步尝试,不妥之处在所难免,请读者批评指正。

编者

1989年7月

目 录

绪言	1
第一章 球面天文和实用天文测量基础知识	15
§ 1.1 地球坐标和天球坐标系	15
§ 1.2 天体的周日视运动和太阳的周年视运动	24
§ 1.3 时间的计量	33
§ 1.4 岁差、章动和极移	48
§ 1.5 天文学在大地测量中的应用	55
§ 1.6 现代天文测地技术介绍	60
第二章 太阳和影响地球物理现象的天文背景	74
§ 2.1 太阳	74
§ 2.2 日地空间	105
§ 2.3 日地关系	116
第三章 太阳系和比较行星学	125
§ 3.1 太阳系的概况和太阳系天体的运动规律	125
§ 3.2 地球运动的地理效应	162
§ 3.3 行星及卫星概况	178
§ 3.4 比较行星学简介	204
§ 3.5 太阳系的小天体	221
§ 3.6 太阳系的起源	231
第四章 地球所在的宇宙空间	237
§ 4.1 恒星世界	237
§ 4.2 银河系	264
§ 4.3 河外星系	274
§ 4.4 恒星的演化和元素起源	283
附录	300

I	球面三角的一些基本公式.....	300
II	光学望远镜的性能.....	307
III	日食图和 1990—2020 年我国能见到的日、月食表.....	310
IV	星座和星图.....	316
V	梅西叶星云星团表.....	327
VI	天文学大事年表.....	330
VII	全球陨石撞击坑.....	339

绪 言

一、天文学的研究对象和意义

天文学是研究天体的科学。天文学的历史和人类的历史同样悠久，可以追溯到遥远的历史年代。早期的天文学是人类文明发展的象征。

在人类社会文明的进程中，天文学的研究范畴和有关天文学中的某些概念都有很大发展。几千年来人们依据来自天体的辐射发现宇宙空间客体的存在，测量天体的位置，了解天体的运动和结构，研究天体的物理性质和化学组成以及它们的演化规律，进而扩展人类对宇宙空间物质世界的认识，为人类社会的发展服务。

天文学是一门观测的科学。天文学家只能被动地观测宇宙发生的现象，收集感性认识的素材进行理论分析，但是并不能主动地影响被研究的宇宙空间客体。因此创造和改进观测手段是受重视的研究课题。天文探测与光学技术、光电技术、无线电电子学技术、电子计算机技术等都有紧密的联系。

为了解释天文观测事实，需要借助已有的数学手段和已经掌握的物理知识。

天文学的每项新发现总会使哲学家们感兴趣；天文学的成就促进了科学的发展，以至不少人认为，目前天文学的进展有可能孕育着一场更深刻的变革。天文学是现代科学的前沿阵地之一，天文学的成就是人类文明的宝贵财富，应当受到全人类的重视。

由于天文学的反馈和边缘科学的发展，天文学与国民经济各部门有着间接而重要的联系，它涉及到未来的能源、交通、技术、理论知识等很多方面。在人类开始步入宇宙航行和建立永久性空间

站的年代,普及和提高天文知识教育是时代的要求。

二、天体的层次

如果把地面和空间探测器所能观测到的或者即将观测到的空间称之为“我们的宇宙”,那么构成宇宙的要素就可以认为是大小和质量各不相同的各种层次。各层次在质量和密度上差别很大,这些层次可以大致地分为行星系、恒星、星际气体、星系、星系团和超星系团等。

众所周知,太阳系是由太阳以及九大行星、六十余颗卫星、两千多颗小行星、无数的彗星、流星和固体微粒等所组成。行星被分为类地行星和类木行星两类,火星以内的行星叫作类地行星,木星以外的行星叫作类木行星。从观测行星得到的资料了解到,类地行星的质量都比地球小,平均密度在 $(4.0-5.5) \times 10^3$ 千克/米³ 之间,类地行星和地球类似之处都是由硅、镁、铁等非挥发性元素的固态物质所构成,而类木行星的质量都比地球大,为地球质量的 15 倍到 318 倍,平均密度较小,只有 $(0.7-1.7) \times 10^3$ 千克/米³。此外,还证认出类木行星的大气中有氢、氦、甲烷、氨等。类木行星的化学组成和太阳大气很相似。可以认为,在高压的中心区,作为主要成分的氢是固态的金属氢。

我们所在的太阳系,除太阳外,大部分质量为行星所占有。通常把地球绕太阳公转的椭圆轨道的半长径叫作天文单位,一个天文单位等于 1.496×10^8 千米,相当于 215 个太阳半径,而太阳半径约为 6.96×10^5 千米。冥王星的公转轨道的半径约为 40 个天文单位。可以认为这就是太阳系的大小。行星的质量比太阳小得多,最大的行星木星的质量只不过是 9.6×10^{-4} 太阳质量,而太阳质量约为 1.99×10^{30} 千克。行星的质量很小,温度比太阳的温度低得多,因而行星的辐射能非常小。

通常,把太阳每秒钟辐射出的总能量称之为太阳的光度,其值约为 3.86×10^{26} 瓦。为了和行星相区别,把太阳这样的本身能够

发光的天体称为恒星。从当前已知的恒星质量分析，有的不到太阳质量的十分之一，有的比太阳的质量大几十倍。就质量和光度而言，太阳是一颗中等的恒星。离我们最近的恒星与太阳的距离约为 4.24 光年，相当于 2.7×10^5 个天文单位。由此得知，由最近的恒星到太阳的距离比太阳系的直径大 10^4 倍。

太阳系所在的银河系是由大约 10^{11} 颗彼此相距大于 3.26 光年量级的恒星组成的盘状集团，其模式图如图 0-1 银河系的正视图(上)和侧视图(下)所示。银河系中有些恒星形成较为密集的集

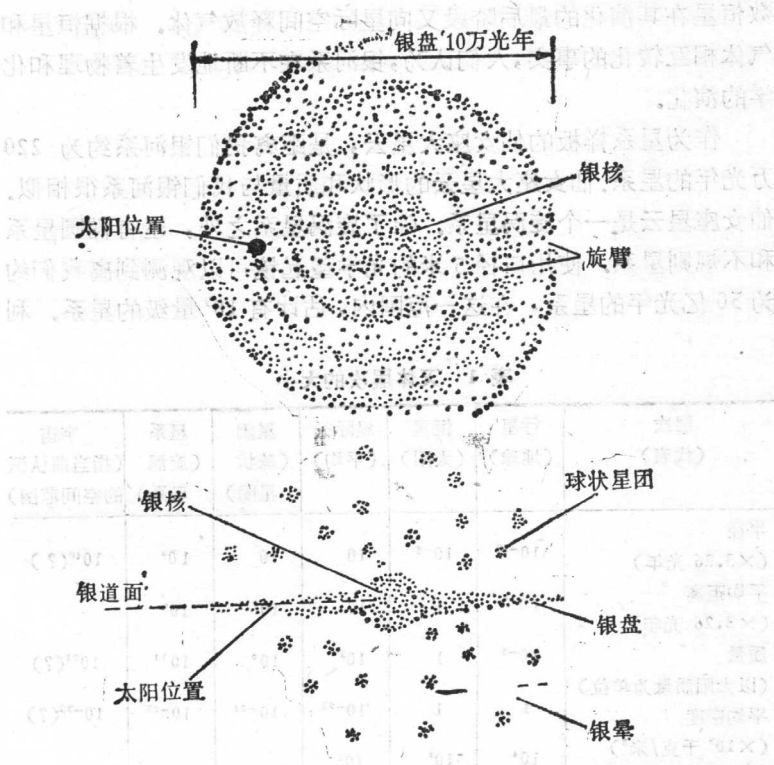


图 0-1 银河系的正视图(上)和侧视图(下)。

团。银盘的外侧有大约 132 个球状星团,每个球状星团包括 10^4 — 10^7 颗恒星。银盘的半径约为 5 万光年,太阳离银盘中心的距离约为 32600 光年。银盘大约每 2.5 亿年旋转一周。

银河系的全部质量,大部分为恒星所占有,只有大约 5% 的质量以气体形式散布在星际空间。星际气体极其稀薄,平均密度相当于每立方厘米只有一个氢原子,但是也存在着密度高出 10^7 倍的气体星云。气体的主要成份是氢,星际气体分为中性氢原子的中性氢区和电离氢区。高密度的气体云由于凝缩而形成恒星,多数恒星在其演化的最后阶段又向星际空间释放气体。根据恒星和气体相互转化的事实,人们认为,银河系在不断地发生着物理和化学的演化。

作为星系样板的仙女座大星云,是距离我们银河系约为 220 万光年的星系。仙女座大星云的形状和质量与我们银河系很相似。仙女座星云是一个旋涡星系。除了旋涡星系之外,还有椭圆星系和不规则星系。使用口径 5 米的光学望远镜可以观测到离我们约为 50 亿光年的星系,在这一范围内,估计有 10^9 量级的星系。利

表 1 天体层次的大小

层次 (代表)	行星 (地球)	恒星 (太阳)	星际云 (平均)	星团 (球状 星团)	星系 (旋涡 星系)	宇宙 (指当前认识 的空间范围)
半径 ($\times 3.26$ 光年)	10^{-10}	10^{-8}	10	10	10^4	10^{10} (?)
平均距离 ($\times 3.26$ 光年)	10^{-9}	1	10	10^3	10^6	
质量 (以太阳质量为单位)	10^{-6}	1	10^3	10^6	10^{11}	10^{21} (?)
平均密度	1	1	10^{-23}	10^{-21}	10^{-23}	10^{-30} (?)
($\times 10^3$ 千克/米 ³)	10^4	10^7	10^2			
中心温度(开)						

用射电望远镜,已经能够观测到 100 亿光年以远的强射电星系。

如上所述,按照所占的空间大小,可以大致地将天体分为表 1 天体层次的大小中所列的层次,每个层次还可以细分为很多类。天体的层次可以反映出我们的宇宙概貌。

三、天文观测和仪器

1. 观测来自天体的信息。

天体上发生的自然现象,以各种信息向四面八方传播,其中有一部分传递给地球。由于地球被大气层包围,致使居住在地面上的人类从大气层底部观测天体受到限制。也就是说,虽然大气外的自然界所递送的信息以辐射、波动、粒子流等形式到达地面,但是在其传输径路中受到反射、散射和吸收,只有有限范围的信息到达地面。这些信息通过辐射探测器才能成为人们了解天体的资料。

从有史以来到 20 世纪初,人类只是通过波长从 300 纳米到 700 纳米范围内的可见光窗口接收来自天体的信息。19 世纪中叶以来,由于使用照相底片和光电管等对天体进行测光和分光观测,因而了解到各种天体的发射区和吸收区的物理状态以及化学元素组成。由于恒星表面的温度大约从 3000 度到几万度,多数恒星辐射的光谱峰值在可视区,所以观测来自恒星大气的可见光很方便。但是观测高温或低温天体,就必须利用天体发出的紫外线、X 射线、 γ 射线、红外线和射电波段。在地面,由于地球大气层中的水汽和二氧化碳分子等的吸收,只能观测七个不同波长的红外波段。接收来自天体的波长大于 3 厘米的射电波,虽然可以避免分子吸收的影响,但是到波长 100 米以上的波段,又会被地球电离层吸收。这就表示,对地球大气的吸收而言,在可视区和红外区以及射电波段有三个窗口,如图 0-2 探测宇宙的窗口所示。1931 年利用射电手段进行观测之际,在米波波段发现了银河射电。近 30 年来,射电天文学取得了卓越的成果。有关星际分子、类星体、3 开宇宙背景辐射、脉冲星、射电星系的发现,都是由于使用了巨大的射电

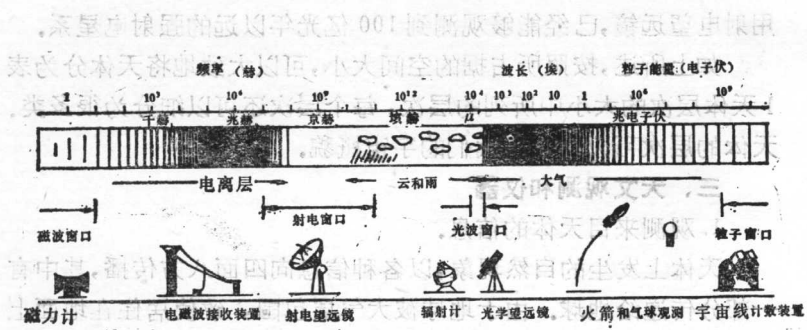


图 0-2 探测宇宙的窗口

望远镜而进行精密观测才得以发现。

小于 10 兆赫的无线电波，由于受电离层的屏蔽难以到达地面。100 千赫左右的甚低频电磁波，沿磁力线传播而不致受到太大的衰减，因此可以穿越电离层。通过磁波窗口的极低频电磁波，可以利用磁强计测定。这种手段在地学领域受到广泛重视。

然而，通过这几个窗口所显示的只不过是宇宙姿态的一个很小的部分。由于空间天文学的发展，人们才能利用各种空间探测器到大气层外，揭开蒙在地球的大气帷幕去观测宇宙。

由于使用大气球、火箭、人造卫星、宇宙飞船、空间实验室、空间往返飞船等在大气高层或大气外进行观测，从而打开了所谓观测窗口，显示出空间天文学的优越性。近 30 年来，由于红外、紫外、X 射线、 γ 射线天文学的发展，相继发现了红外星和 X 射线星等新天体，天文学已经进入了全波段天文学的时代，但是对于恒星的研究而言，由于波长小于 91 纳米的赖曼界限波长范围的短波辐射受星际氢的吸收，使探测受到妨碍，当前尚未找出解决的办法。

除了来自天体的电磁波外，人们对高能宇宙线粒子也在不遗余力地从事观测。宇宙线高能微观粒子，主要包括质子、 α 粒子和少量的其他原子核以及电子、中微子和高能光子。宇宙线中存在

着从 10^9 至 10^{21} 电子伏的能量很高的粒子。银河系宇宙线是人类能够获得的太阳系外的唯一物质样品。由于宇宙线观测的开展，发现了很多重要的高能天体和高能天体物理现象。

为了从地面上探测太阳中心的氢核聚变反应所释放出来的中微子，1955年美国的戴维斯等人在废铜矿井下2000米深处进行探测太阳中微子的试验，其结果发现探测到的来自太阳的中微子，而它们的出现率要比理论预期值少得多，称之为太阳中微子短缺之谜。中微子是一种弱相互作用的基本粒子，它不带电荷、静质量极小、以光速运动。中微子可以穿透一光年厚的岩石而没有明显的衰减。恒星内部产生的中微子能够不受阻碍地跑出恒星表面，因此探测恒星发射的中微子，可以获得恒星内部的信息。可以认为，宇宙早期的中微子是“宇宙化石”之一。一般认为，只有在超新星爆发之际，中微子剧增，才有可能探测到。1987年2月23日天文学家们发现的大麦哲伦云中的一颗超新星1987A，发射到地球上大约有 10^{27} 个中微子，其中被科学家用仪器接收到的却只有27个中微子。即使如此，这也是人类首次接收到的来自超新星爆发的中微子。

自从1969年报导了人类成功地探测到广义相对论所预言的引力波以后，各国都在作这种试验。探测大质量天体激烈运动之际发射的引力波，对于了解星系核爆发等现象有可能提供新的信息。

2. 几种天文观测仪器和装置

(1) 光学望远镜。

光学望远镜是伽利略首先制造的，他所制造的折射望远镜的口径只有4.5厘米，焦距为1.2米，这台仪器具有负目镜，放大倍率约为33倍。公元1610年1月7日，伽利略把他亲手制造的这台折射望远镜指向天空，立即发挥了望远镜所具有的增大光流密度和放大视角的作用，把天体观测引向了目视光学观测的阶段，使天文

观测在质和量两个方面都有了进步，天文学从此进入了光学天文学的时代。其后，各国都在制造不同尺寸的望远镜，而每一架大型望远镜的出现，都标志着天文学的新发现和提出了新的理论课题。

现将折射望远镜和反射望远镜以及折反射望远镜的光路简单地介绍如下。

① 折射望远镜。

折射望远镜的光路如图 0-3 所示。折射望远镜最适合于作天体测量方面的工作。为了克服单透镜出现的各种像差，保证成像质量，它的物镜和目镜都需要采用复合透镜。由于巨大的光学玻

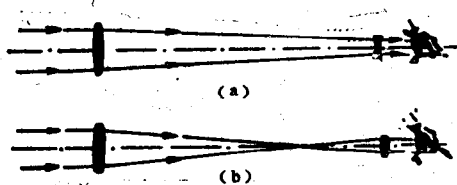


图 0-3 折射望远镜的光路图

(a) 伽利略式 (b) 开普勒式

表 2 口径大于 70 厘米的折射望远镜

口径 (厘米)	焦距 (米)	所属的天文台	所在的国家	海拔 (米)	启用 年份	制造者
102	19.4	叶凯士	美国	334	1897	Clark
91	17.6	利克	美国	1283	1888	Clark
83	16.2	默冬	法国	162	1893	Henry
80	12.0	中央天体物理研究所	德国	107	1899	Steinheil
76	14.0	普尔科沃	苏联	75	1885	Henry
76	14.1	阿拉菲克	美国	370	1944	Brasher
74	17.9	尼斯	法国	376	1886	Henry
71	8.5	格林尼治	英国	47	1894	Grubb

璃很难制造，因而最大的折射望远镜仍然属于美国叶凯士天文台的仪器。1897年由克拉克制造的这台折射望远镜的物镜口径为1.02米。口径大于70厘米的折射望远镜现有八台，如表2口径大

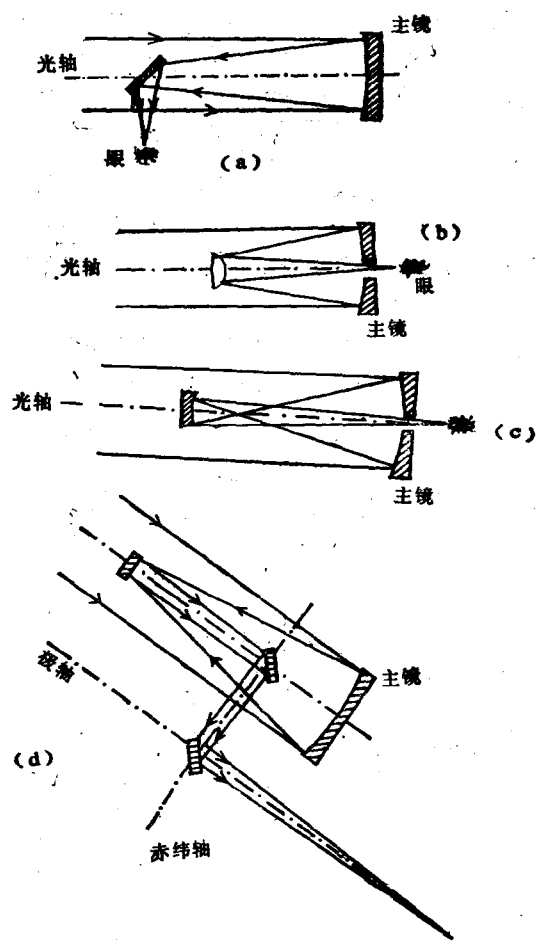


图 0-4 反射望远镜的光路图
 (a) 牛顿式 (b) 卡塞格林式 (c) 格雷果里式 (d) 折轴式

于 70 厘米的折射望远镜所示。

② 反射望远镜。

1672 年, 牛顿制成第一架反射望远镜。反射望远镜的光路图如图 0-4 所示。在牛顿式反射望远镜内, 反射镜所反射的光束被一只小型平面镜反射到安装着目镜或者照相底片的位置。

几乎与牛顿式反射望远镜出现的同时, 还出现了卡塞格林式和格雷果里式反射望远镜。在这两种反射望远镜内, 反射出来的光束并不像牛顿式那样射到镜筒旁边, 却穿过反射镜中央的小孔。为了达到这个目的, 在卡塞格林式望远镜中, 利用一只凸双曲面形的小反射镜; 在格雷果里式反射望远镜内, 主镜为抛物面镜, 副镜为凹椭球面反射镜。

折轴望远镜中, 当光束通过光学元件延轴射出, 其焦点称为折

表 3 口径大于 2.5 米的反射望远镜

口径 (米)	所属的天文台	所在地	焦比	制 造 商	完成年份
6.0	专门天体物理台	苏联	4.0	Leningrad OMO	1976
5.08	帕洛玛山	美国	3.3	Brown	1948
4.0	基特峰	美国	2.7	KPNO	1973
4.0	美国美洲际	智利	2.7	KPNO	1976
3.9	英、澳赛丁斯普	美国	3.3	Grubb-三菱电机	1975
3.6	加、法、夏威夷莫纳克	美国	3.8	Optical S. DAO	1979
3.6	欧洲南方	智利	3.0	REOSC	1976
3.5	德国和 西班牙天文中心	西班牙		Zeiss (FRG)	1983
3.0	利克	美国	5.0	Hendrix	1959
2.7	麦克唐纳	美国	3.9	Davidson Optronics	1969
2.6	克里米亚	苏联	3.8	Leningrad OMO	1961
2.6	比拉干	苏联	3.6	Leningrad OMO	1975
2.5	威尔逊山	美国		Ritchey	1917
2.5	美国海耳	智利	3.0	Optical S.C., U. Arizona	1976
2.5	英国格林尼治	大西洋拉 帕尔马岛	3.0	Grubb	1963