

编号: (80)002

内 部

出国参观考察报告

西德卫星大地测量

56.152
177

科学技术文献出版社

出国参观考察报告

西德卫星大地测量

(内部发行)

编辑者：中国科学技术情报研究所

出版者：科学技术文献出版社

印刷者：中国科学技术情报研究所印刷厂

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本：787×1092¹/₁₆。 印张：4 字数：100千字

1980年4月北京第一版第一次印刷

印数：1—4,000册

科技新书目：156—22

统一书号：17176·239 定价：0.60元

西德卫星大地测量

卫星大地测量考察组

张志新、汪鸿生、斯源洪、矫永昌、鄂栋臣、王志生

前 言

一九七八年十月，中国测绘学会卫星大地测量考察组赴西德进行了为时一个月的考察。在西德期间，考察组先后考察了九个研究单位、三个工厂、一艘海测船、一个计算中心和两个卫星观测站。这些单位分别是：西德应用测量研究所和韦特策尔卫星观测站；慕尼黑工业大学天文和物理大地测量教研组；西德拜恩科学院理论测量研究所；慕尼黑国防大学测量系；波恩大学理论测量教研组；西柏林工业大学高等测量和天文测量教研组和卫星观测站；斯图加特工业大学测量教研组；达姆斯塔特工业大学测量系和汉堡水文地理研究所和海测船；上科亨蔡司工厂；慕尼黑晶体光学工厂；汉堡阿里斯托自动绘图仪器工厂和慕尼黑加辛等离子物理研究所的计算中心等。

由于此次考察的重点是卫星大地测量，因而在技术总结中着重于卫星大地测量的观测技术、资料处理以及基本理论和它的发展趋势。

因为西德开展卫星大地测量的主要机构为 SFB—78 卫星大地测量专题研究组和韦特策尔卫星观测站，所以在技术总结中对其着重作了介绍。

目 录

- 一、 西德卫星大地测量组织和发展的情况 (1)
- 二、 测地卫星及其应用 (2)
- 三、 韦特策尔卫星观测站 (7)
- 四、 西德卫星多普勒测量的发展情况 (12)
- 五、 卫星光学摄影观测 (19)
- 六、 卫星激光测距法 (22)
- 七、 推求标准地球模型GRIM 1 和GRIM 2 的一般情况 (34)

一、西德卫星大地测量组织和发展的情况

1.1 西德负责卫星大地测量的单位

西德卫星大地测量主要由慕尼黑工业大学所属的78卫星大地测量专题研究组(SFB78)负责组织和实施。SFB78是属于西德联邦政府承认的研究课题之一,因此SFB78每年从联邦政府的研究协会得到研究经费,约一百多万马克。参加SFB78课题的主要承担单位有三个:第一为慕尼黑工业大学天文和物理测量教研室LAPG;第二为西德测量研究所第一分部DGFI;第三为西德应用测量研究所IfAG(又名西德测量研究所第二分部)。参加单位有拜恩国际测量委员会BEK,西柏林工业大学TUB,慕尼黑工业大学TUM和波恩大学等单位。SFB78卫星大地测量专题研究组的组织负责人和计划情况如下:

SFB78组长 R. Sigl 工学博士、教授
M. Schneider 博士、副教授
主管 M. Schneider
理事 H. Ludwig 工学博士 (B1)
K. Nottarp 物理学家 (A2)
CH. Reigber 工学博士、讲师 (B3)
E. Reinhart 博士
M. Schneider (组长/主管)
H. Seeger 教授, 工学博士 (付组长)
R. Sigl 教授, 工学博士 (组长)
P. Wilson 工学博士 (A3)
E. Wolf 工学博士 (A1)

全体大会	
组长	理事
主	管
计划 A 卫星观测的技术	计划 B 卫星观测在大地测量上的应用
A1 方向观测 A) 摄影观测 B) 干涉仪测量 C) 天文大地测量	B1 卫星大地测量中使用观测数据的方法和模型
A2 距离测量 A) 激光测距 B) C-波段雷达测距	B3 地球模型和场参数的确定
A3 多普勒测量 A) 微波多普勒测量 B) 激光多普勒测量	

西德测量研究所DGFI隶属于拜恩科学院西德大地测量委员会。该所下属有两个分部,第一分部为其直属单位,第二分部就是西德应用测量研究所IfAG。它与DGFI只是一种技术协作关系,因为IfAG属于西德联邦政府内务部领导,由内务部直接拨款。

1.2 西德卫星大地测量开展的情况

西德卫星大地测量工作开展得较晚。1966年才由应用测量研究所开始在离法兰克福约20公里的克洛彭海姆(Kloppenheim)建立了卫星观测站。主要是采用光学摄影方法进行卫星观测工作。并参加西欧卫星网与美国网的连测工作。到1972年西德有六个单位参加了“西欧卫星三角测量计划”。

1972年底参加新的国际卫星大地测量试验时,IfAG选择了距法兰克福较远的拜恩森林

地区的韦特策尔作为新的卫星观测站。1972年由 SFB78 专题组, 获得大量经费后, 韦特策尔才正式建成现代化的卫星观测站。站上安装有第三代激光测距仪, 光学摄影仪和卫星多普勒接收系统。

在地球引力场解算和地球模型解算方面慕尼黑工业大学与法国空间大地测量研究组 GR-GS 合作解算了 GRIM-1, GRIM-II 两个地球模型。现在正在解算 GRIM-III。

二、测地卫星及其应用

自从人造地球卫星发射成功以后, 引起了世界大地测量学者的广泛注意。由于人造卫星运行于距地面几百至数千公里的高度, 可以作为大范围地面联测的活动目标。另外, 人造地球卫星的运行轨道及其摄动与地球的质量、形状大小、引力场及其变化有着最为直接的关系。所以通过卫星轨道的变化来解决有关地球形状与引力场的课题是最为便利和有效的手段。作为大地测量学的一个新分支——卫星大地测量学获得了迅速的发展, 并在空间技术和地球动力学方面发挥着日益重要的作用。

美国最先从事测地卫星的研制工作, 并于1962年10月首次把测地卫星安娜1B送入轨道。此后, 几乎每年都发射有专用的测地卫星, 至今已发射了各种型号、不同轨道的测地卫星达二十几颗。其中有我们较熟悉的西可尔、吉奥斯、帕吉奥斯、地形图、激光地球动力学卫星等。1978年6月又发射了海洋卫星。除了上述专用测地卫星外, 还有一些卫星, 如:“探险者”、“子午”导航卫星、“回声”通信卫星、“维纳斯”侦察卫星等也广泛地用于测地目的。

在测地卫星的研制, 发射和应用方面, 美国一直处于领先的地位。

法国为了统一欧洲、非洲及亚洲部分地区的大地测量网, 于1966年至1975年也先后发射了五颗自己研制的测地卫星。

苏联发射测地卫星较晚, 据了解于1968年才开始。为了保密, 全部混编在宇宙号卫星系列里, 并很少发表测地卫星的利用成果。苏联与东欧各国组成卫星观测网, 并以国际卫星委员会东欧分会名义出现, 参加了国际间的卫星观测活动。

其它国家(包括西德)均未发射过专用的测地卫星。下面我们将美、法、苏发射的测地卫星列于表1, 2, 3中, 以供参考。

测地卫星可以分成两类, 即主动卫星和被动卫星(也可以叫做有源和无源卫星)。主动测地卫星上一般配备有用于轨道测量的各种无线电设备和光学设备, 例如雷达应答机、多普勒信标、脉冲闪光氙灯等。它还可装有用于测地的各种遥感设备, 例如多光谱辐射计、微波辐射计、雷达测高仪等。被动测地卫星上不配备任何设备, 最多在卫星体表面涂有反光性能的金属箔或装嵌有许多块激光反射器。它作为空间三角测量的一个照准目标(高空觇标), 在地面光学可见条件下, 用于目视或照相观测, 从而为大范围或全球性的卫星三角测量服务。这类卫星较典型的是美国发射的帕-吉奥斯卫星。它是直径30米的充气气球, 运行在4200公里高的轨道上, 它被日光照射时, 从地面看去很亮, 以利于光学观测。

应用卫星进行测地有两种方式, 一种是几何卫星大地测量, 另一种是动力卫星大地测量。几何卫星大地测量是通过两个或多个地面站对卫星进行同步观测。这种方法只能测定各测站间相对位置, 所求出的地面点坐标只能是某一坐标原点的相对值, 而不是以地心为原点的绝对坐标。动力卫星大地测量不仅可以测定测站在地心直角坐标系中的坐标, 而且还可以

表1 美国发射的测地卫星

卫星名称	发射日期	倾角 (°)	周期 (分)	近地点/远地点 (公里)	备注
安娜1B	1962.10.31	50.14	107.84	1077/1082	有激光反射器360块, 有效面积80厘米 ²
地球物理卫星	1963.6.28	49.74	102.1	415/13.3	
西可尔1	1964.1.11	69.89	103.46	904/933	
探险者22	1964.10.10	79.69	104.82	889/1081	
西可尔3	1965.3.9	70.08	103.51	909/938	激光反射器360块
西可尔2	1965.3.11	89.98	97.85	296/1014	
西可尔4	1965.4.3	90.03	111.58	1282/1313	
探险者27	1965.4.29	41.19	107.78	941/1317	
西可尔5	1965.8.10	69.26	122.24	1140/2423	反射器334块,有效面 积940厘米 ²
探险者29 (即GEOS-1)	1965.11.6	59.38	120.30	1115/2277	
西可尔6	1966.6.9	90.05	125.13	168/3648	
PAGEOS-1	1966.6.24	87.14	181.43	4207/4271	
西可尔7	1966.8.19	90.1	167.59	3680/3700	反射器400块,有效面 积1100厘米 ²
西可尔8	1966.10.5	90.19	167.63	3676/3706	
西可尔9	1967.6.29	89.91	172.2	3803/3947	
探险者36 (即GEOS-2)	1968.1.11	105.80	112.28	1084/1577	
西可尔13	1969.4.14	99.93	107.36	1075/1130	西可尔Ⅱ型 反射器270块,有效面 积3000厘米 ²
TOPO-1	1970.4.8	99.76	107.09	1064/1111	
探险者57 (即GEOS-3)	1975.4.10	114.96	101.82	839/853	
激光地球动力 卫星 (LAGEOS)	1976.5.4	109.86	225.41	5837/5945	
海洋卫星1 (SEASAT-1)	1978.6.26	108.0	101.0	800/800	激光反射环

表2 法国发射的测地卫星

卫星名称	发射日期	倾角 (°)	周期 (分)	近地点/远地点 (公里)	备注
D1-A (王冠)	1966.2.17	34.04	118.65	503/2753	反射器144块
D1-C	1967.2.8	39.9	104.3	576/1350	
D1-D	1967.2.15	39.4	110.2	592/1886	
PEOLE	1970.12.12	15	98.43	514/749	反射器60块
STARLETTE (小星)	1975.2.6	49.8	104.1	805/1107	

表3 苏联发射的测地卫星

卫星名称	发射日期	倾角 (°)	周期 (分)	近地点/远地点 (公里)
宇宙号-203	1968.2.20	74.06	109.22	1178/1208
-256	1968.11.30	74.05	109.45	1175/1227
-272	1969.3.17	73.99	109.35	1181/1211
-312	1969.11.24	74.03	108.60	1144/1179
-409	1971.4.28	74.01	109.36	1177/1216
-457	1971.11.20	74.04	109.50	1185/1221
-480	1972.3.25	82.97	109.21	1175/1203
-539	1972.12.21	74.02	112.98	1343/1383
-585	1973.9.8	73.99	113.63	1368/1416
-650	1974.4.29	74.04	113.49	1369/1402
-675	1974.8.29	74.04	113.70	1365/1426
-708	1975.2.12	69.23	113.58	1369/1413
-770	1975.9.24	82.94	109.21	1169/1210
-807	1976.3.12	82.97	109.13	396/1973

求解地球引力场，计算标准地球形状。

测地卫星区别于其它类型的应用卫星，它具有许多特点。就卫星本体而言，为了使大气阻力摄动减至最小，则要求星体本身体积小而比重大。就其运行轨道而言，从测地卫星的一览表中可以看出绝大多数的测地卫星为1000公里左右的近圆轨道。少数为4000公里左右的近圆轨道，这样的高度是与平均边长为900公里和平均边长为4000公里的国际卫星三角联测相适应的。同时，在这样的轨道高度和轨道形状下，卫星轨道摄动对地球引力场的微小变化最为敏感，而大气阻力摄动则可忽略不计。另外，为了解算地球位球谐函数系数，要求测地卫星的运行轨道具有各种不同倾角。从表中可以看出，测地卫星的轨道倾角从十几度一直到九十几度。除此之外，对于测地卫星而言，还必须具有长期运行的特点，以便获得更多的观测数据，从而提高卫星测地精度，所以大多采用近圆形轨道。测地卫星的地面观测网也与其它应用卫星的地面网不同，它要求等间距的环球布站。这就是说一个国家或一个地区不可能独立地完成卫星测地任务，而必须有广泛的国际合作。例如美国六六年建立的所谓世界几何卫星网，平均边长4000公里，在全球范围内设置了45个BC-4观测站。美国斯密松天体物理天文台(SAO)在推算第3号标准地球的时候，综合了105个卫星观测站的数据。

十几年来，利用卫星进行大地测量工作取得了丰硕的成果，无论是在重力测量方面，还是在建立世界统一坐标系方面都有惊人的发展，人类对自己居住的地球了解得更加清楚了。美国除在本土进行了大量的重力测量外，还在东西海岸，墨西哥湾，大西洋，印度洋和太平洋进行了海上重力测量，加上人造地球卫星的测地资料，获得了比较完整的全球重力资料。1971年他们出版了 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的平均空间重力异常资料，包括19165块 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的平均空间重力异常值。1973年又出版了一本，包括27441块 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 平均重力异常和估算偏差值。已有的资料占全球42.3%，截至74年8月， $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的重力资料增至53%，已有的 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 的重力资料增至80%，其中 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 的重力异常值以美国本土东西靶场周围精度最高。在围绕大力神和民兵导弹发射井周围，卡纳维拉尔角范登堡空军基地周围， $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 平均重力异常的标准误差，绝大

表4 标准地球模型一览表

单 位	美 国 防 部		
	1960	1966	1972
名 称	WGS—60 1960年世界 大地坐标系	WGS—66 1966年世界 大地坐标系	WGS—72 1972年世界 大地坐标系
地球长半径 a_e (米)	6378156±50	6378145±20	6378135±5
引力常数GM (米 ³ 秒 ⁻²)			(398600.5±0.4) × 10 ⁹
扁率 (f)	1/298.3±0.1	1/298.25±0.02	1/298.26±0.5
赤道重力 r_e (毫伽)			978033.26±1.8
地球自转角速度 ω (弧度/秒)			0.7292115145 × 10 ⁻⁴
二阶带谐项系数 C_{20} J_2			- 484.1605 × 10 ⁻⁶

续表 4 1

单 位	斯 密 松 天 文 台			
	1966	1967	1969	1973
名 称	SAO—I (C ₆) 标准地球 I	GV _{1es} (C ₇) 维斯系统	SAO—II 标准地球 II	SAO—III 标准地球 III
地球长半径 a_e (米)	6378165	6378142±6	6378155	6378140.4±1.2
引力常数 GM (米 ³ 秒 ⁻²)	398603 × 10 ⁹	(398600.9±0.7) × 10 ⁹	398601.3 × 10 ⁹	398601.3 × 10 ⁹
扁率 (f)	1/298.25	1/298.255±0.005	1/298.255	1/298.256±0.0001
赤道重力 r_e (毫伽)	978030.6	978031.1±3.2	978029.1	
地球自转角速度 ω (弧度/秒)				0.7292115085 × 10 ⁻⁴
二阶带谐项系数 C_{20} J_2	10827 × 10 ⁻⁷	10826.39 × 10 ⁻⁷	- 484.1660 × 10 ⁻⁶ 10824.37 × 10 ⁻⁷	- 484.1700 × 10 ⁻⁶

多数在 1 ~ 3 毫伽之内。

由于洲际导弹和空间飞行事业的发展, 各国自己使用的大地坐标系表现出明显的局部性, 所以建立世界范围的统一坐标系就成为完全必要和急需的了。这个坐标系的原点为地球质心, 称为地心坐标系。地心坐标系可以用重力测量资料和天文大地测量结果建立起来, 但需要有全球均匀分布的重力资料才能得出精确结果。目前用这种方法来确定地心坐标, 最好的情况下, 只有±10米的精度。

续表 4 2

单 位	哥 达 德 宇 航 中 心			
		1972	1973	
年 份				
名 称	GEM-4	GEM-6	GSFC 地球模型	GSFS 地球模型
地球长半径 a_e (米)	6378142	6378142	6378145	6378155
引力常数GM (米 ³ 秒 ⁻²)	398600.9×10^9	398600.9×10^9	398601.3×10^9	398600.8×10^9
扁率 (f)	1/298.255	1/298.255	1/298.256	1/298.256
赤道重力 r_e (毫伽)	978032.2	978032.2	978032.2	978033.3
地球自转角速度 ω (弧度/秒)		0.72921151467 $\times 10^{-4}$		
二阶带谐项系数 $C_{20} \quad J_2$			-484.1690×10^{-6}	-484.1605×10^{-6}

续表 4 3

单 位	俄 亥 俄 州 立 大 学		西 德 理 论 测 量 研 究 所	
	1974			
年 份				
名 称	WN-12	WN-14	GRI-M-I	GRI-M-II
地球长半径 a_e (米)	6378154	6378142	6378155	6378155
引力常数GM (米 ³ 秒 ⁻²)	398600.89×10^9	398600.922×10^9	398601.3×10^9	398601.3×10^9
扁率 (f)	1/298.2595	1/298.25	1/298.255	1/298.255
赤道重力 r_e (毫伽)	978028.47	978032.26		
地球自转角速度 ω (弧度/秒)	$0.72921151467 \times 10^{-4}$			
二阶带谐项系数 $C_{20} \quad J_2$	10826.797×10^{-7}	10826.863×10^{-7}		

测地卫星应用以来,美国斯密松天体物理天文台,哥达德宇航中心,俄亥俄州立大学和
美国国防部先后发表了标准地球模型,西德慕尼黑工业大学的 SFB-78 专题研究组和法国空间
大地测量研究组合作,结合自己的观测资料先后计算和发表了两个标准地球模型(见表4)。
目前各国仍在计算新的地球模型。在地心坐标系中,子午导航卫星的基本站位置精度和激光
测卫站的位置精度已达士 1 米以内。在求解地球球谐函数系数方面已经完成了 36 阶球谐函数
的展开工作。

应用卫星测地虽然取得了重大成就，但卫星测地的任务还远没有结束，人们正在向着新的目标迈进。新的目标意味着更精确地定义地球形状和地球重力场，不断提高空间定位精度，以及进一步解决极移、板块运动、地球潮汐、地震预报等地球动力学和地球物理学方面的课题。1978年6月26日美国发射的海洋卫星1号（Seasat-1）就是卫星测地向新的目标迈进的一个标志。这颗卫星除携带有供精密定轨用的S波段应答机、多普勒信标机、激光反射环以外，还装备了雷达测高仪、合成孔径雷达、可见光和红外辐射计、散射计、多频微波辐射计等多种海洋探测仪器。其中雷达测高仪采用了脉冲压缩技术，脉宽为3毫微秒，测高精度可达±10厘米。其测高数据与精确的轨道数据可用来测定海流、潮汐、涌浪、海啸等引起的海面扰动，从而提高全球海洋水准面的精度。这颗卫星原计划工作一年，但发射后只工作了三个月就发生了故障，预计今后还要发射这类卫星。

美国还在研究试验新的全球导航系统（NAVSTAR, GPS），计划发射24颗卫星，运行于三个轨道平面中，预计1982年完成第一阶段试验，1985年后可以正式投入使用。它可以进行随时定位，将大大提高空间定位能力。

此外，目前西欧各国，以西德为主正在研制所谓“空间试验室”（Spacelab）。日本正在研制气球卫星，这些都说明了利用卫星进行测地的工作还在广泛进行，还有许多任务等着我们去完成。

三、韦特策尔卫星观测站

韦特策尔（Wetzell）卫星观测站位于西德东南部Kotzting和Viechtach之间拜恩森林地区的一个小高地上，海拔高为600米，靠近捷克斯洛伐克边境。该站系西德对卫星大地测量进行科学研究的一个设备完整、仪器先进的综合性固定试验站。

该站为西德应用测量研究所建设，由SFB-78资助于1972年开始建造。因此该站也做为SFB-78的一个主要组成部分。建立韦特策尔站的目的是：1）为研究卫星大地测量获得最佳的观测资料（数据）；2）通过多种手段对卫星进行同时观测，掌握和消除系统的观测误差；3）消除时间误差和对中误差；4）尽可能合理地安排人力。

下面就该站的站址选择，观测设备以及发展计划等分别介绍如下：

3.1 站址的选择和概况

由于卫星观测站需要安置大型高功率的，具有一定发散角的脉冲激光测距仪。为了避免发散的强脉冲激光对人眼有些损害，并顾及飞行安全，就需要避开飞机航线。为此IfAG放弃了法兰克福附近的克洛彭海姆卫星观测站，选择了韦特策尔作为新的卫星观测站址。就现在激光技术的发展来看，卫星激光仪的脉冲发散可以压缩得很窄，能量可达到高度集中，加上接收系统技术的提高，可使仪器的功率相应减少。所以在站址选择时，考虑此条件也就不一定那么严格了。

此外，和天文观测一样，需要将站址选得高一些，并且视野开阔。同时还要求雨雾较少，周围无大功率发射天线，以及交通方便，必须有高压辅电线及自来水管可联接。

韦特策尔站于1971年秋开始建立，开始由应用测量研究所，就地买些便宜木材，自己动手建造一些观测设施。后来由于获得了经费和仪器建成现在规模的站，建筑费用花了约合人民币60万元，于1977年夏全部竣工建成。工作室內均有空调设备，激光电子控制室和原子钟房等特殊设施均加恒温控制。整个站的布局见图3.1。

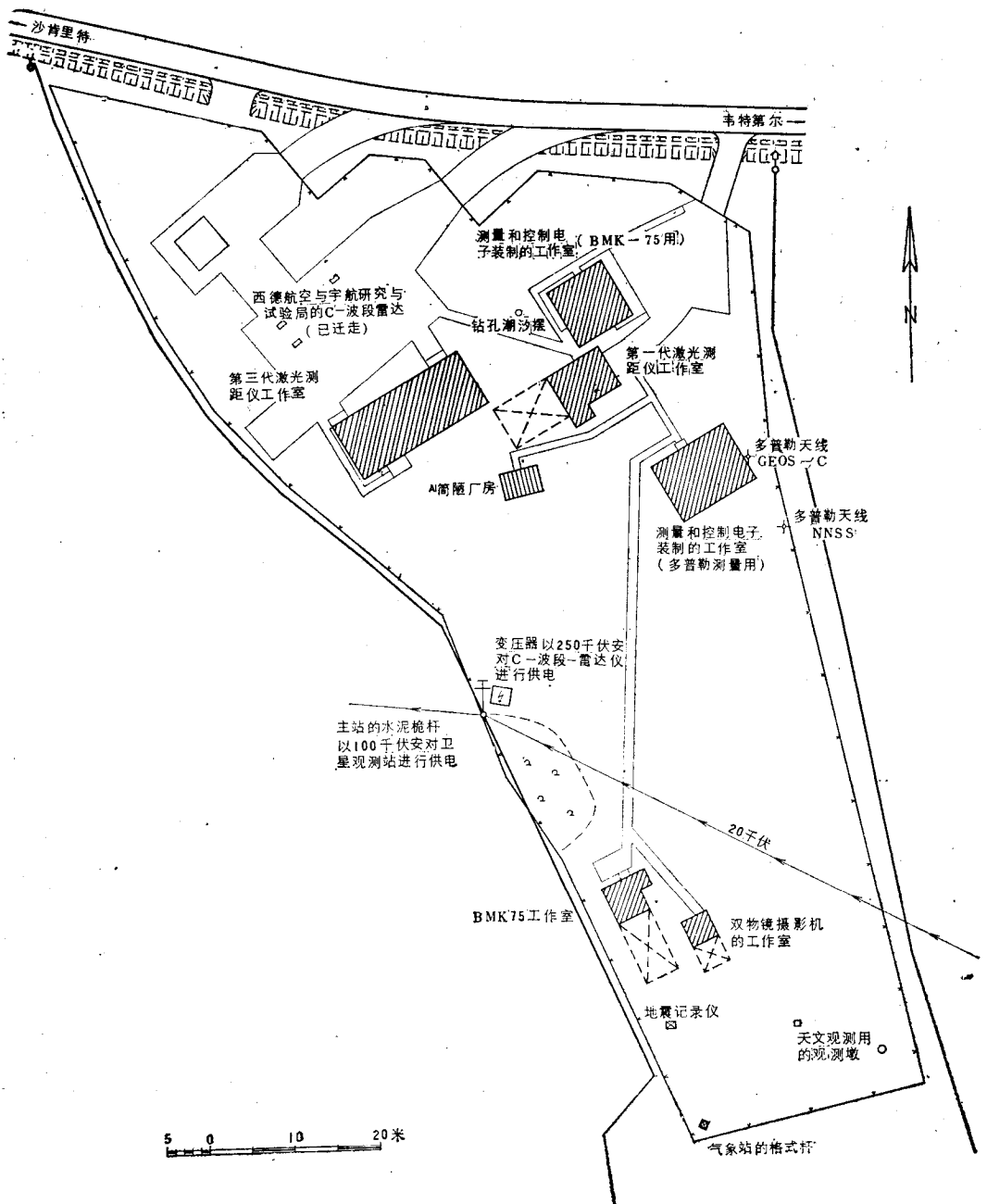


图 3.1 韦特策尔卫星站的平面图

站内的观测墩，仪器中心以及天线位置都从国家主三角网用精密测量进行联测，采用坐标系统为ED50。

卫星站上配有物理光学、电子学、测量和机修人员，据了解常驻卫星站的工作人员为五名，不包括勤杂人员。

3.2 观测系统

韦特策尔观测站作为西德卫星大地测量的一个综合试验站，具有目前世界先进的、成套

的观测系统，设备较全，自动化程度较高。

3.2.1 卫星多普勒设备。

两套加拿大马可尼公司制造的卫星多普勒接收系统——CMA-722B。用于接收子午导航卫星的频率（400/150兆赫），以进行卫星多普勒定位。除接收机外，该系统还包括一台穿孔机，轻便天线和HP-2100A型电子计算机。在站上安置的固定船用天线，对子午导航卫星进行长期观测。在野外观测时，则采用可安置在三脚架上的轻便天线。除此还有一台CMA-725接收机，专用于接收吉奥斯—3号卫星的频率（324/162兆赫），它必须与CMA-722B联用或者在有高精度时间系统时可单独使用，它也具有轻便可携带天线和携带穿孔机。（图3.2）。

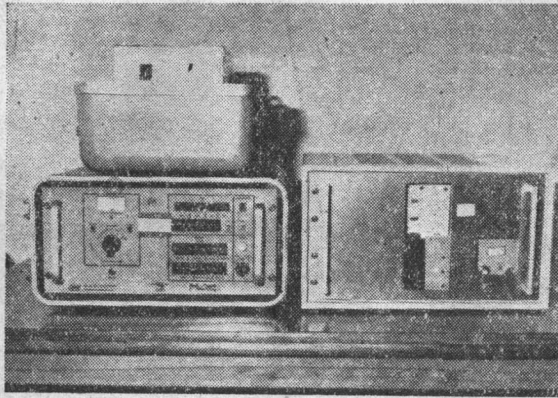
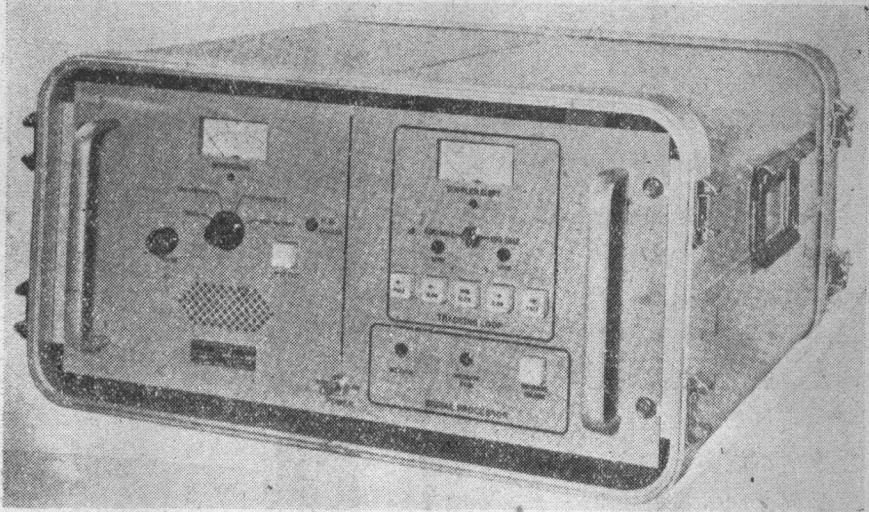


图 3.2 卫星多普勒接收机CMA-722B（上部）和CMA-725（下部）

3.2.2 卫星的光学摄影系统。

韦特策尔站上有两台卫星摄影仪。一台是西德OPTON光学仪器厂生产的BMK-75(图3.3)。它的焦距为750毫米，相对孔径为1:2.5，视场角 $\omega=14^\circ$ ，底片尺寸90×215毫米。该仪为赤道式恒星自动跟踪，并有六张底片的自动换片器。摄影仪还配有电子计算机和穿孔记录等设备，以便进行自动控制。量测底片的坐标量测仪在慕尼黑DGFI。

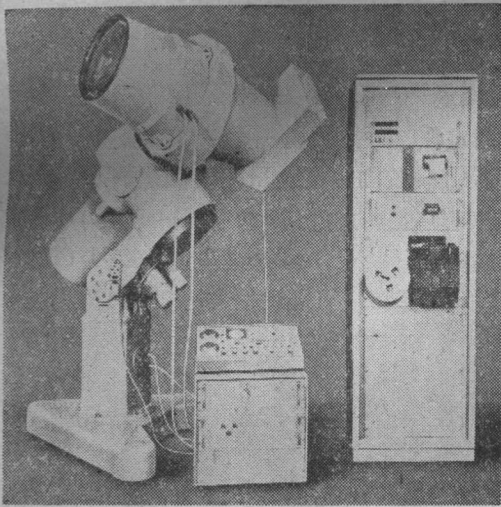


图3.3 卫星摄影机系统BMK75/18/f2.5

和使用。对第三代激光测卫系统的总的要求是：

(1) 重复频率至少为每秒一次，脉冲半宽值为5毫微秒，测距精度要高于10厘米；

(2) 自动化程度要高，能进行自动跟踪、自动记录和自动归算，操作人员不能多于二个；

(3) 测程要远，最好达2万公里，白天也要能观测。

该系统的光学部分安置在屋顶可移动的仪器墩上(图3.4左侧)，而激光发射器，PDP11/45电子计算机和控制系统均安装在恒温工作室里(图3.4右侧和图3.6)，而激光发射器在恒温室里还需安置在特制的净化室里，加以保护(图3.6右侧)。

从卫星反射回来的信号由直径为60厘米的卡塞格林系统接收(图3.5)，它经过一个可变的衰减器和一个窄带滤波器引至一个极短时间开启的光电倍增管上去。时间由一个高分辨力的时间计数器测定之。而起动脉冲通过玻璃纤维光导线到达光电倍增管。

另一台摄影仪是西德应用测量研究所自己制造的双筒摄影仪，它的焦距为960毫米，相对孔径为1:56，视场角为 $\omega=4^\circ.5$ ，底片尺寸为60×90毫米，也可跟踪恒星。

3.2.3 高精度的第三代激光测距系统

该系统由美国加利福尼亚州 Mountain View 的GTE Sylvania 公司生产。1974年12月签定合同。签定合同前，西德 SFB78/IfAG 根据韦特策尔站使用第一代激光测距仪的经验，并派人去加拿大和美国对28家有关工厂和机构作了六星期的考察旅行后，才提出了第三代激光测距仪的详细技术指标(表5)。该系统于1976年9月进行出厂验收，1977年1月中旬才在韦特策尔站上安装

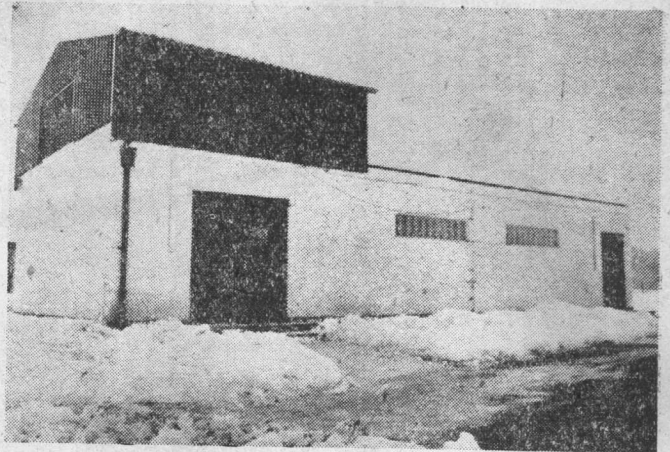


图3.4 Neodymium-YAG 激光测距系统的工作室全貌

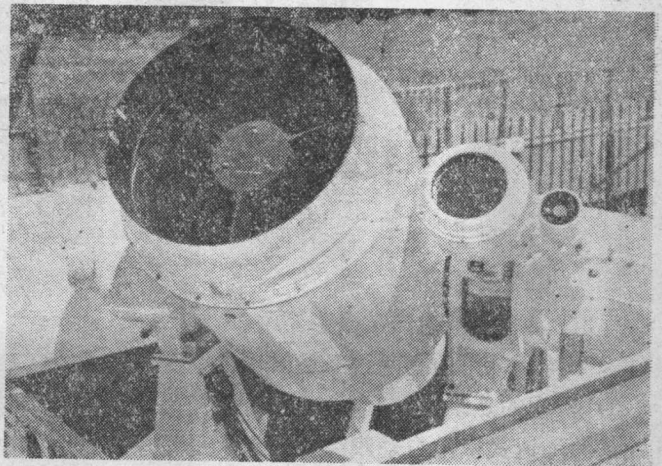


图3.5 Neodymium-YAG激光测距仪的光学系统

表 5 激光测距系统技术指标一览表

要求的规格	与Sylvania-公司签定合同	出厂验收结果
<p>一般性能</p> <p>测距范围：350米—20000公里</p> <p>数据获得能力： 每秒钟一次或更多次距离</p> <p>所需作业人员：2人</p> <p>安置形式</p> <p>2—轴</p> <p>配置：地平式或X-Y</p> <p>折轴光路</p> <p>工作范围：仰角：110° 方位角：540°</p> <p>跟踪</p> <p>由-10°连续通过天顶至-10°， 用计算机控制</p> <p>轨道面的跟踪速度可由1°/分 变化至1°/秒</p> <p>轴的正交性：±2英寸</p> <p>18比特编码器</p> <p>发送光学</p> <p>发射光线的有效散度</p> <p>从0.1可以变化至5.0毫弧度</p> <p>接收光学</p> <p>类型：卡塞格林</p> <p>直径：60至90厘米</p> <p>视场：1'至15' (0.3至4.4毫 弧度)</p> <p>激光器</p> <p>红宝石或掺钕钇铝石榴石</p> <p>脉冲透射或模式耦合作业</p> <p>能量：5.0或0.25焦耳</p> <p>脉冲半宽值：5.0毫微秒或100 微秒</p> <p>功率：1至2千兆瓦</p> <p>自然散度：1毫弧度</p> <p>光谱范围：红或绿 (694毫微米 或532毫微米)</p> <p>脉冲连续频率：1PPS或更高</p> <p>接收器</p> <p>静电</p>	<p>350米—20000公里</p> <p>3PPS</p> <p>2名观测员</p> <p>2—轴</p> <p>地平式</p> <p>折轴</p> <p>190°</p> <p>540°</p> <p>由-10°连续到天顶周围2°再至 -10°，用计算机控制</p> <p>1°/分至1°/秒</p> <p>±2英寸</p> <p>18比特</p> <p>0.1至0.5毫弧度</p> <p>卡塞格林</p> <p>61厘米</p> <p>0.05至2.3毫弧度</p> <p>红宝石或掺钕钇铝石榴石</p> <p>脉冲透射或模式耦合作业</p> <p>能量：3.0或0.25焦耳</p> <p>5毫微秒或200微微秒</p> <p>1千兆瓦或1.25千兆瓦</p> <p>1.2至6毫弧度与重复频率有关 或1毫弧度</p> <p>694毫微米或532毫微米</p> <p>3 PPS</p> <p>静电或静电—电磁组合 (交叉 场)</p>	<p>900米—9000公里</p> <p>5PPS</p> <p>2名观测员</p> <p>2—轴</p> <p>地平式</p> <p>折轴</p> <p>190°</p> <p>540°</p> <p>由-10°连续到天顶周围2°再至 -10°，用计算机控制</p> <p><1°/分至1°/秒</p> <p><1英寸</p> <p>20/18比特</p> <p>0.025至2.0毫弧度</p> <p>卡塞格林</p> <p>61厘米</p> <p>0.05至2.3毫弧度</p> <p>掺钕钇铝石榴石</p> <p>模式耦合作业</p> <p>0.25焦耳</p> <p>200微微秒</p> <p>1.25千兆瓦</p> <p>0.3毫弧度</p> <p>532毫微米</p> <p>5 PPS</p> <p>静电—电磁组合 (交叉场)</p>

续表 5

要求的规格	与Sylvania-公司签定合同	出厂验收结果
俯仰时间佳于2毫微秒 脉冲分析 程序计算机	2毫微秒或0.5毫微秒 如果需要可以进行	0.15毫微秒 不需要
数据处理率：1次测量/秒 数据存贮在磁带或磁盘上 数据输出：电传打字机 磁带、穿孔带 存贮容量：至少 16K—16比特字长	1—3次测量/秒 磁盘可以有1200000字的容量 电传打字机、磁带 穿孔带 16K可以扩大到128K	5次测量/秒 磁盘 磁带、穿孔带 快速打印机 32K

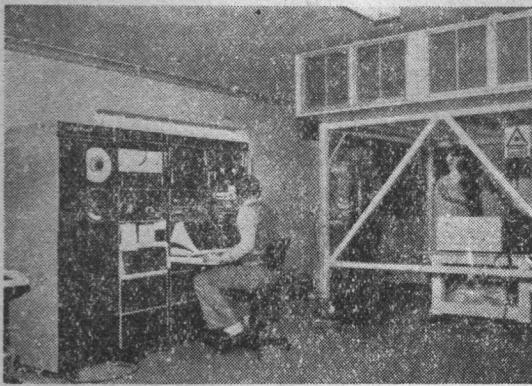


图3.6 Neodymium-YAG 激光器在“净化室”中(右边)恒温房中还有 PDP11/45 电子计算机和控制系统(左边)

所量测的距离, 相应的时间以及其它一些系统参数由电子计算机记录在磁带上。这一组数据也包括激光触发时刻时编码器的读数。

除此, 计算机还计算卫星预报数值和仪器安置数值。计算机还对整个系统作一般的检验。操作员只作局部的控制。

3.2.4 原子钟。

站上有一套安装在地下恒温室里的具有三个氦原子标准频率的原子钟, 它用于全站各观测系统的统一时标。并通过自动的罗兰-C 接收机进行时间比对。

此外, 还有 2 台 Towner 系统的自动气象记录仪, 一台丹容等高仪, 一台环行天顶仪和用于固体潮观测用的钻孔潮汐摆, 以及地震记录仪等。

原来安装在旧炮架上的第一代激光测卫仪器现已不再使用, 保存在站上仅为参观而已。1975年曾安置在站上的 C-波段雷达装置也于1976年3月移往他地使用。

四、西德卫星多普勒测量的发展情况

西德卫星多普勒测量主要是应用测量研究所 (IfAG) 负责, 该单位也是 SFB-78 国家专题研究组的主要成员, 因此常常以 SFB-78 名义出现。除此还有一些大学, 例如慕尼黑国防大学, 汉诺威工业大学和西柏林工业大学等参加该项工作。

为了全面开展卫星大地测量工作, IfAG 于 1972 年起筹建了新的卫星观测站——韦特策尔。1974 年韦特策尔站得到了两台 CMA-722B 接收机, 就积极开展卫星多普勒测量方面的研究和活动。

首先在韦特策尔站上进行了二个月的检验观测, 然后于 1974 年 4 月 26 日至 1975 年 1 月 27 日对欧洲空间研究组织 (ESA) 的四个观测站进行多普勒定位工作。这四个站为美国阿拉

斯加的Fairbanks, 比利时的Redu, 法国的Rehbach和西班牙的Villafranca。当时要求将观测的子午卫星系统APL4.5*转换到哥达德系统, 精度为10米内。使用了广播星历和单点定位程序。并计算了七个转换参数。

1975年法国组织欧洲五个站参加美国测地卫星GEOS-C的试验。其中包括西德的韦特策尔站。此时西德研究技术部与美国国家宇航局之间签订了一项特别协定。此协定规定西德韦特策尔站除提供该站观测卫星的资料外, 还对美国RCAAN/MPS-36C波段雷达负责试验(该雷达于1975-1977年安置在韦特策尔站, 现已迁走)。而美国向西德提供子午卫星系统的精密星历表, 以及为确定地心坐标和地球引力场诸参数的全球有关观测资料。

现将IfAG自1975年以来负责组织或参与的几项较大的卫星多普勒测量工作分述如下。

4.1 EDOC-1 第一次欧洲多普勒测量会战

主要由比利时皇家天文台和西德应用测量研究所负责。计算工作由法国空间大地测量研究组(GRGS) F.Nouel主持。参加站有英国、比利时、意大利、法国、瑞典和西德等六个站。时间为1975.5.1-1975.5.31共1个月。EDOC-1得出三个主要结论为:

- (1) 卫星多普勒测量有较好的精度,
- (2) 各种坐标系统(地球模型)的结果相互有显著的差别,
- (3) 需要对欧洲基准EDSO的转换参数作进一步的研究。

4.2 EDOC-II 第二次欧洲多普勒测量会战

由于第一次会战的经验和要求, 由欧洲地球动力学研究组组织了欧洲35个站参加。时间是1977.4.23-5.7。欧洲拥有23台仪器, 租用了14台。仪器型号为CMA-722B, GEO-II, JMR-1和TRANET。成立了六个人组成的协调组, 西德由P.Wilson博士代表SFB-78和IfAG参加该协调组。并且分设三个计算中心, 即比利时的布鲁塞尔, 西德法兰克福和法国巴黎的国家地理院(ING)。

西德SFB-78/IfAG还负责对所有参加会战的CMA-722B接收机的观测数据进行预处理, 以便进行多站处理。除此, 还观测了四个站。

会战的计算仍在进行中。单点定位计算已于1977年底结束, 多点定位计算计划于1978年

表 4.1

计算单位	采用的程序	星历	对流层改正模型高度角
布鲁塞尔 法兰克福	ORB 单点	精密	Hopfield-Kouba 15°/10°
	IfAG-A(GEOPOP)单点	广播	Hopfield-Kouba 15°/7°.5
	IfAG-B(GEOPOP)单点	精密	Hopfield-Kouba 15°/7°.5
	IfAG-C(GEOPOP)多点	广播	Hopfield-Kouba 15°/7°.5
	IfAG-D(GEOPOP)多点	精密	Hopfield-Kouba 15°/7°.5
巴黎	ING-A(GDP)单点	广播	Hopfield-DBA 15°/0°
	ING-B(GDP)单点	精密	Hopfield-Kouba 15°/10°
	ING-C(GDP)多点	广播	Hopfield-DBA 15°/10°
	ING-D(GDP)多点	精密	Hopfield-DBA 15°/10°

*1975年后才将广播星历改为WGS-72系统。