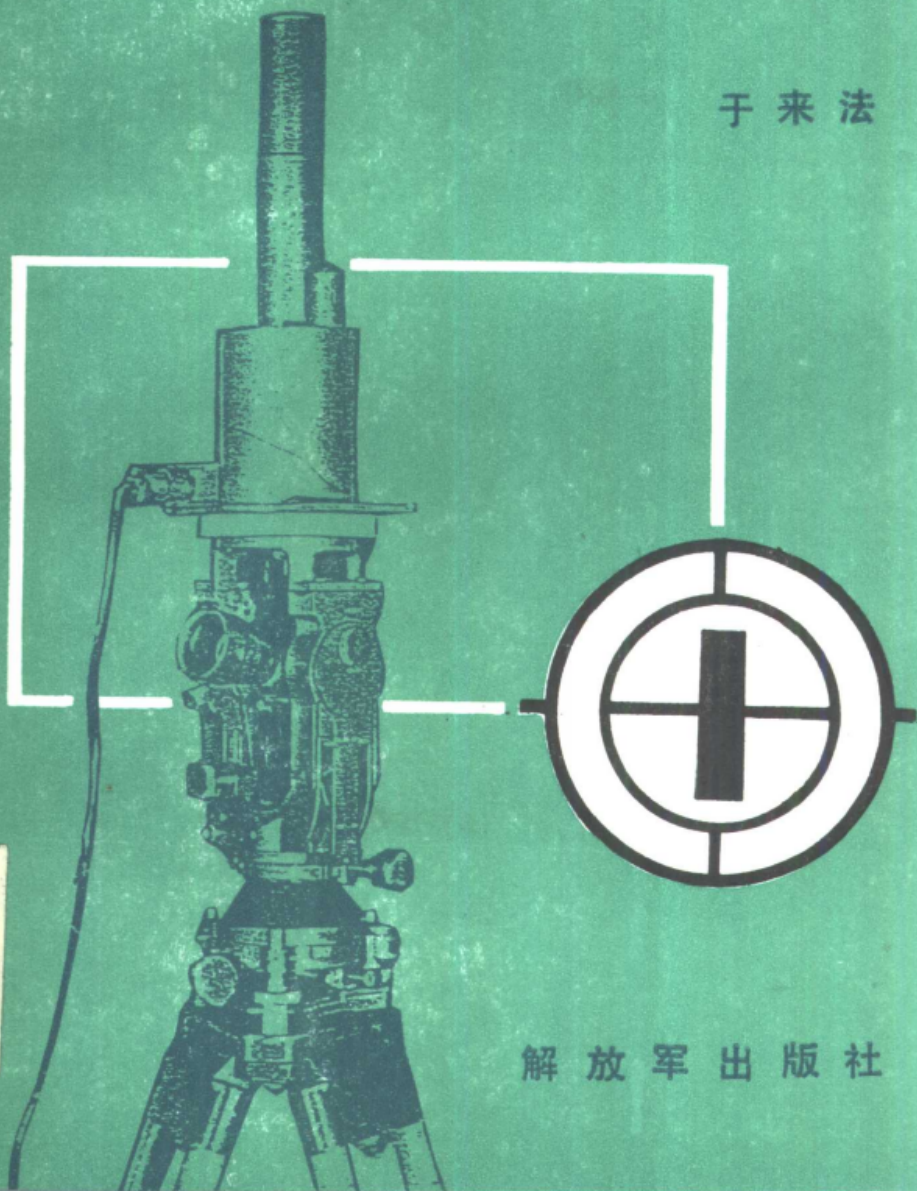


陀螺定向测量

于来法



解放军出版社

陀螺定向测量

于 来 法

解 放 军 出 版 社

陀螺定向测量

于 来 法

解放军出版社出版、发行

一二〇一工厂印刷

开本: 850×1168毫米^{1/32} 印张9.5 字数200 000

1988年12月第1版

1988年12月(北京)第1次印刷

ISBN 7-5065-0698-X/E·359

内 容 提 要

本书是为适应军事工程、矿山、铁道等部门测绘人员的需要而编写的。全书共分六章，分别介绍和论述了陀螺经纬仪的发展及其应用；陀螺仪的基本知识和寻北原理；陀螺经纬仪的基本结构及其检校；定向观测方法及其精度；影响定向精度的各种因素；以及陀螺定向导线的布设和平差。

本书可作为军事工程测量、矿山测量等测量人员及测量专业本、专科学生的参考书。

前 言

陀螺经纬仪是一种全天候、不依赖其他条件能够测定真北方位的物理定向仪器，在军事、远程武器发射、航天、矿山、铁道、森林、建筑、海洋和测绘等部门日益得到广泛应用。随着科学技术、经济建设和国防建设的迅速发展，对陀螺经纬仪定向技术的要求愈来愈高，尤其要满足快速精密定向的需要。目前解决这一问题的途径，一是研制自动化程度高的新型陀螺经纬仪；二是改进陀螺经纬仪定向观测方法、数据处理，研究定向中误差影响及消除减弱办法。在以上两个方面，最近十多年来国内外开展了广泛的试验和研究，陀螺经纬仪制造和应用技术有了迅速发展。

本书是为适应上述形势而编写的，重点是第二方面的内容。书中主要内容作为解放军测绘学院教材，曾于1984年印成讲议。结合作者的教学实践和科研心得于1987年作了修改补充。全书共分六章，第一、二、三章介绍：陀螺经纬仪的发展和应用；陀螺仪的基本知识；陀螺经纬仪定向基本原理及各种状态下陀螺运动方程，以及陀螺经纬仪结构与检校。第四章较全面深入地论证了多种定向观测方法的基本原理和数据处理，定向步骤和记录计算，并从理论与实践的结合上分析了定向的精度，对各种观测方法的定向精度和时间作了比较。第五章对影响定向精度的问题进行了讨论，包括陀螺漂移、零位误差、仪器常数、竖轴偏心、极移影响及作业限差等问题，研究误差性质、变化规律及消除措施。第六章介绍了地下陀螺定向导线的布设和平差。

本书在编写过程中，得到军内外许多专家和同志们热情帮助，在此向他们表示衷心感谢。鉴于作者水平有限，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。

目 录

前 言	(1)
第一章 绪 论	(3)
1-1 陀螺经纬仪的发展和应用	(3)
1-2 刚体转动惯量及矢量表示法	(16)
1-3 陀螺仪的自由度及类型	(25)
1-4 陀螺仪的基本特性及进动规律	(31)
1-5 陀螺仪的漂移率及误差模型	(35)
1-6 激光陀螺仪	(39)
第二章 陀螺经纬仪测量真北原理	(44)
2-1 地球自转引起陀螺轴的变化规律	(44)
2-2 摆式陀螺仪寻北规律	(49)
2-3 摆式陀螺仪主轴相对地球运动的轨迹	(52)
2-4 自由陀螺仪的欧拉方程	(56)
2-5 经纬仪跟踪状态下陀螺的运动方程	(62)
2-6 经纬仪固定状态下陀螺的运动方程	(76)
第三章 陀螺经纬仪的基本结构与检校	(82)
3-1 概 述	(82)
3-2 陀螺经纬仪的基本结构	(83)
3-3 自动化陀螺经纬仪介绍	(94)
3-4 其他陀螺经纬仪介绍	(101)
3-5 精密定向对陀螺仪部件的设计要求	(109)
3-6 陀螺经纬仪检校	(120)
第四章 陀螺经纬仪定向观测方法与数据处理	(128)
4-1 陀螺经纬仪定向的作业过程	(129)
4-2 陀螺灵敏部悬带零位测定与改正	(134)
4-3 快速近似指北观测方法	(139)

4-4	逆转点法定向原理与数据处理	(141)
4-5	中天法定向原理与数据处理	(153)
4-6	时差法定向原理与数据处理	(164)
4-7	改化振幅法定向原理与数据处理	(182)
4-8	记时摆幅法定向原理与精度估计	(193)
4-9	三点测时法定向原理与精度分析	(207)
4-10	记时法定向原理与数据处理	(215)
第五章	影响陀螺定向精度因素的分析	(219)
5-1	陀螺经纬仪的漂移影响	(219)
5-2	陀螺经纬仪产生漂移的原因分析	(230)
5-3	陀螺经纬仪悬挂带零位误差	(237)
5-4	陀螺经纬仪仪器常数稳定性和可靠性检验	(243)
5-5	单面读数陀螺经纬仪竖轴系偏心差对陀螺定向的影响	(253)
5-6	陀螺经纬仪定向作业中一些问题的讨论	(259)
5-7	极移及其对陀螺方位角的影响	(263)
第六章	陀螺经纬仪定向导线布设与平差	(266)
6-1	地下直伸导线加测陀螺方位角的密度和最佳位置	(266)
6-2	地下曲折型导线加测陀螺方位角的最优配置	(273)
6-3	陀螺经纬仪定向导线的平差	(278)
6-4	按协方差比例分配法进行陀螺定向导线的坐标平差	(283)
6-5	陀螺经纬仪定向导线误差计算与精度分析	(289)
	主要参考文献	(296)

前 言

陀螺经纬仪是一种全天候、不依赖其他条件能够测定真北方位的物理定向仪器，在军事、远程武器发射、航天、矿山、铁道、森林、建筑、海洋和测绘等部门日益得到广泛应用。随着科学技术、经济建设和国防建设的迅速发展，对陀螺经纬仪定向技术的要求愈来愈高，尤其要满足快速精密定向的需要。目前解决这一问题的途径，一是研制自动化程度高的新型陀螺经纬仪；二是改进陀螺经纬仪定向观测方法、数据处理，研究定向中误差影响及消除减弱办法。在以上两个方面，最近十多年来国内外开展了广泛的试验和研究，陀螺经纬仪制造和应用技术有了迅速发展。

本书是为适应上述形势而编写的，重点是第二方面的内容。书中主要内容作为解放军测绘学院教材，曾于1984年印成讲议。结合作者的教学实践和科研心得于1987年作了修改补充。全书共分六章，第一、二、三章介绍：陀螺经纬仪的发展和应用；陀螺仪的基本知识；陀螺经纬仪定向基本原理及各种状态下陀螺运动方程，以及陀螺经纬仪结构与检校。第四章较全面深入地论证了多种定向观测方法的基本原理和数据处理，定向步骤和记录计算，并从理论与实践的结合上分析了定向的精度，对各种观测方法的定向精度和时间作了比较。第五章对影响定向精度的问题进行了讨论，包括陀螺漂移、零位误差、仪器常数、竖轴偏心、极移影响及作业限差等问题，研究误差性质、变化规律及消除措施。第六章介绍了地下陀螺定向导线的布设和平差。

本书在编写过程中，得到军内外许多专家和同志们热情帮助，在此向他们表示衷心感谢。鉴于作者水平有限，书中错误在所难免，恳请读者批评指正。

第一章 绪 论

1-1 陀螺经纬仪的发展和应用

陀螺经纬仪是一种将陀螺仪和经纬仪结合成一体的用作定向的仪器。它是利用陀螺仪本身的物理特性(定轴性和进动性)及地球自转影响,能够在纬度 70° 以内的任何地方迅速给出真北方向或任意目标的真方位角的精密定向仪器。目前它被广泛地应用于军事、建筑、导航、测绘、矿山、铁道、森林及海洋等部门的定向测量和快速测量。

把陀螺仪应用于测量定向,可以追溯到1920年德国的舒勒(M. Schuler)测量陀螺仪。但是真正把它应用于实际测量定向,还是自20世纪50年代以来首先在德国,继之为苏联、英国、匈牙利、瑞士、美国、中国及日本等先后开展了陀螺经纬仪的研究和发展,用以解决矿山测量、工程测量及军事上的测量定向问题,至今已有近40年发展史了。

陀螺经纬仪的完善有赖于陀螺技术的进步,陀螺技术发展却是随着军事需要,尤其是导弹、航空和航海事业的开展而前进的。在陀螺技术方面,中国古代就发现和应用了高速旋转物体所具有的特性,并设法把它支承起来构成实用的陀螺仪表。支承高速转子又能使转子任意翻转的环架,就是现在称作的万向支架。早在西汉末年,中国就创造了与万向支架原理完全相同的“卧褥香炉”,它能“环转四周而炉体常平”。与其相类似的还有唐朝的“镂空银熏球”。

从18世纪中叶到19世纪末,曾多次有人提出并设法利用陀螺

的基本特性制成仪器，应用于轮船上建立方位基准。大约在1810年，曾经有人制造过一个回转椭圆体，这实际上就是机械式陀螺仪的萌芽。1852年，法国物理学家L.傅科(L.Foucault)第一次通过实验确认了回转定理，提出了陀螺仪方案，制成了最早的傅科陀螺仪，如图1-1所示，并正式提出了“陀螺”(Gyro)这个术语。他还大胆设想“……，只要有陀螺仪观测，就可以得出任何地点的子午线位置”。由于航海事业的发展，1904年德国的H.安休兹研制了一个方向始终保持不变的指北仪器，即世界上第一个航海陀螺罗经(Gyrocompass)，如图1-2所示。从此开辟了陀螺仪作为方位控制系统中应用的道路。这种陀螺罗经制造时，有意把转子和内

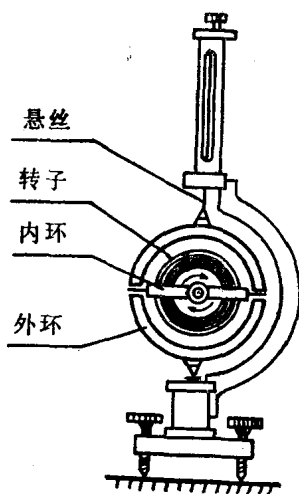


图1-1 傅科陀螺仪

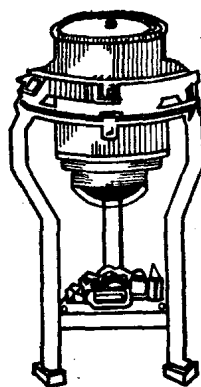


图1-2 安休兹航海陀螺罗经

环的重心从万向支架的中心向下移一段距离，变成摆式陀螺仪，可以自动指北。如图1-3所示，摆式陀螺罗经转子轴端点移动的轨迹是一个围绕子午面的椭圆。

航空事业的发展，使陀螺仪很快应用来指示飞机的姿态，即

指示飞机的俯仰角和倾斜角。图1-4表示一个简单的航空陀螺地平仪，它可以通过陀螺地平仪中陀螺的定轴性，在飞机上给出一个始终与地平面相平行的地平面基准。飞机俯仰时，陀螺房和外框架将保持自己原来的水平位置，而飞机将带动表壳和固定指标绕外框架转动同一角度。这时小飞机和俯仰刻度环的零刻度线将高于或低于固定指标，从而给出了飞机的俯仰角。当飞机有倾斜时，陀螺房仍旧保持原来的水平位置，飞机带动表壳和倾斜刻度盘旋转，小飞机就会在倾斜刻度盘上指示出飞机的倾斜角。

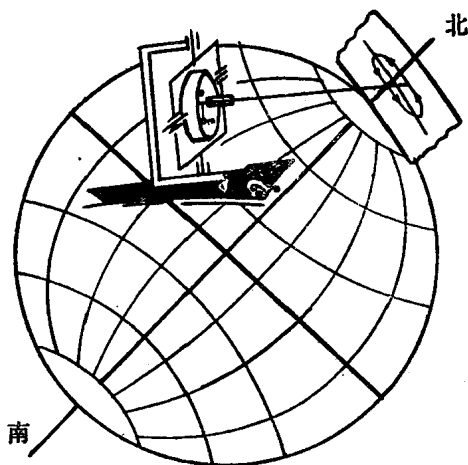


图1-3 摆式航海陀螺罗经指北示意图

航天技术及武器的发展，如洲际导弹、核潜艇、宇宙飞船等均需要精确地惯性导航系统。它通常由加速度表、陀螺稳定平台和计算机组成，而陀螺仪是惯性导航系统的关键。图1-5是陀螺稳定平台示意图，陀螺稳定平台可以使两个加速度表始终保持自己的测量方向，从而获得准确的结果。

陀螺仪在地质勘探、石油钻采和海洋开发等方面的应用越来越广泛，例如陀螺测斜仪可以测量几千米深井的倾斜和弯曲。图1-6表示一种陀螺测斜仪原理简图，当从井口慢慢将仪器放下去

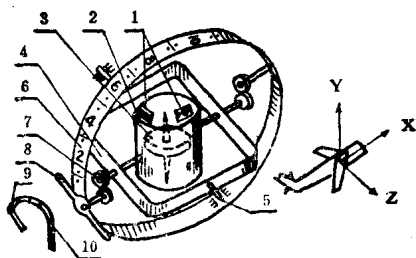


图1-4 航空陀螺地平仪构造示意图

1—液体摆 2—陀螺房 3—陀螺马达 4—外框架 5—外框架轴 6—
刻度环 7—内环轴 8—小飞机 9—固定指标 10—倾斜刻度盘

时，由于陀螺的定轴性，便能将钻井的弯曲情况自动记录下来。

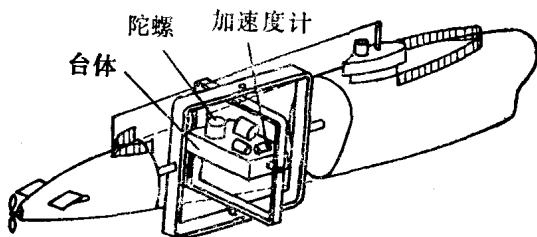


图1-5 陀螺稳定平台示意图

陀螺仪的广泛应用给测量陀螺仪的发展奠定了基础。德国M·舒勒于1920年试制成功第一台测量陀螺仪。如图1-7所示，仪器的陀螺部分是把异步电机K装在密封陀螺房D中，陀螺房悬挂在马蹄形套座C、C'上，套座牢固地与浮子A联结在一起，而浮子浸入水银容器B中漂浮。反光镜S与陀螺房牢固相联，供经纬仪F观测陀螺的摆动，整个陀螺仪罩在玻璃罩G中，并有整平用的三个脚螺旋。陀螺电机通以333赫兹三相交流电，转速达19000转/分，仪器重约318公斤，在室内试验获得摆动平衡位置的中误差为 $\pm 21''$ 。说明舒勒陀螺仪用于测量定向是可能的，只是太笨重

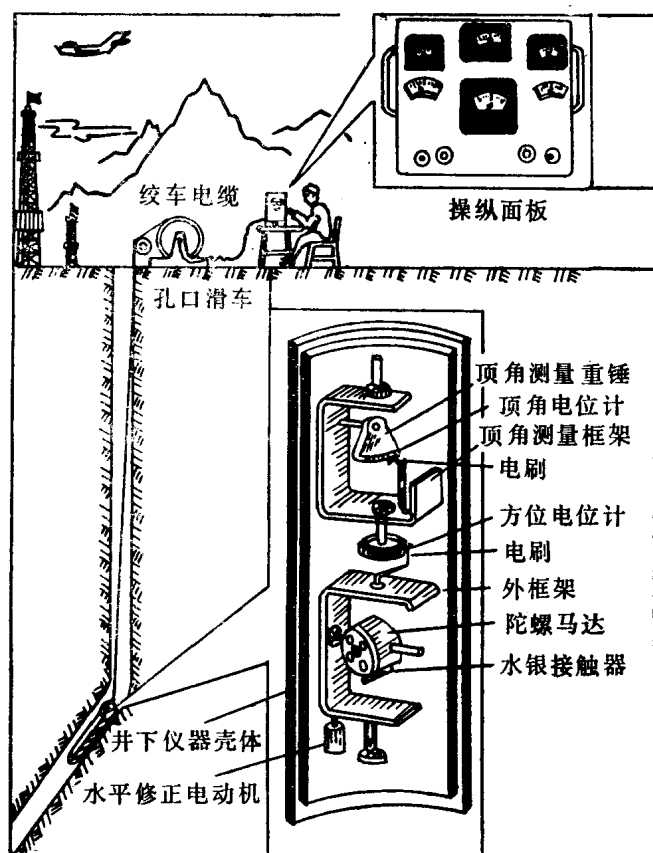


图1-6 陀螺测斜仪原理图

不便于应用。

从30年代以后的几十年间,矿山测量定向及军事部门的需要,世界各国不断研制出新型陀螺经纬仪。陀螺经纬仪的发展,若按仪器结构特征来划分,大体可以划分为以下三个阶段。

第一阶段,基本上是研制液体漂浮式陀螺经纬仪。仪器结构特点是:陀螺转子装在封闭的球形浮子中,采用液体漂浮电磁定

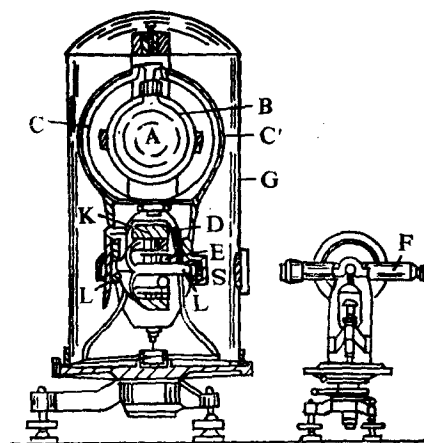


图1-7 舒勒测量陀螺仪

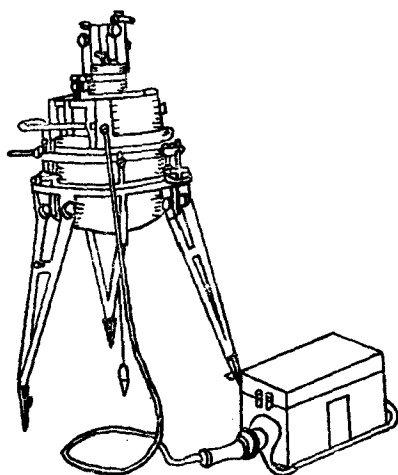


图1-8 MW4a型子午线指示仪

中心，陀螺转子由空气压缩涡轮机带动三相交流电机供电。全套仪器重几百公斤，一次定向时间几个小时，陀螺方位角一次测定中误差为 $\pm 1' \sim 2'$ 。

具有代表性的液浮式陀螺经纬仪有：德国1959年研制的MW 4a型子午线指示仪，仪器全重190公斤，一次定向时间1~2小时，一次定向中误差可达 $\pm 20''$ ，外形如图1-8所示；苏联1954年研制的MYT-2型陀螺罗盘，是发展初期典型结构形式，全套仪器重250公斤，一次定向中误差 $\pm 1.5'$ ，仪器结构如图1-9所示；1958年苏联研制出防暴型陀螺经纬仪，全套仪器重量45公斤，一次定向1

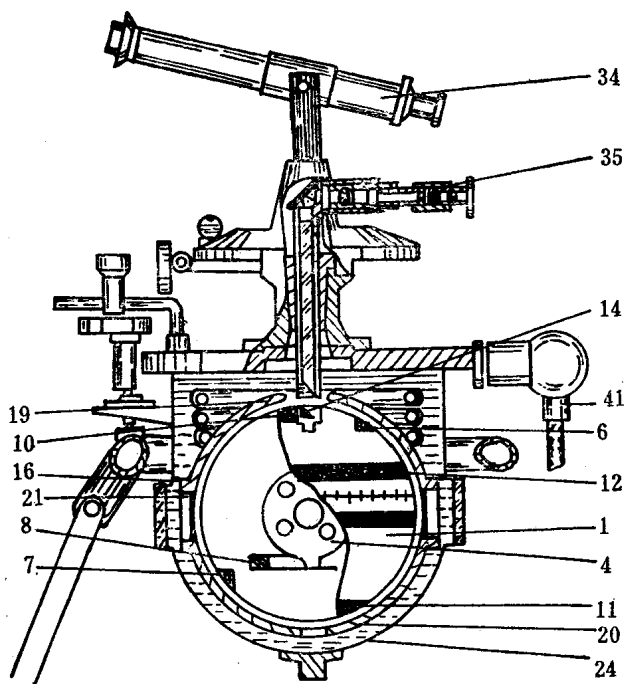


图1-9 苏联MYT-2型陀螺罗盘仪

- 1—陀螺球 4—陀螺转子 6—电磁线圈 7—电磁线圈 8—铅锤
 10—顶电极 11—底电极 12—腰电极 14—反光镜 16—供电球
 19—顶电极 20—底电极 21—腰电极 24—溶器 34—复测经纬
 仪 35—自准直光管 41—冷却管

小时，一次定向中误差为 $\pm 45''$ ，图1-10是MB陀螺经纬仪构造图。

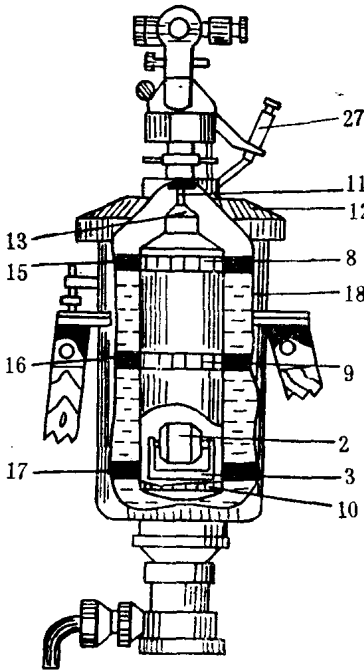


图1-10 MB防暴陀螺经纬仪

2—陀螺马达 3—浮子底部 11—轴尖 12—浮子支柱 13—平面反射镜 18—容器 27—自准直光管
8、9、10、15、16、17—导电板

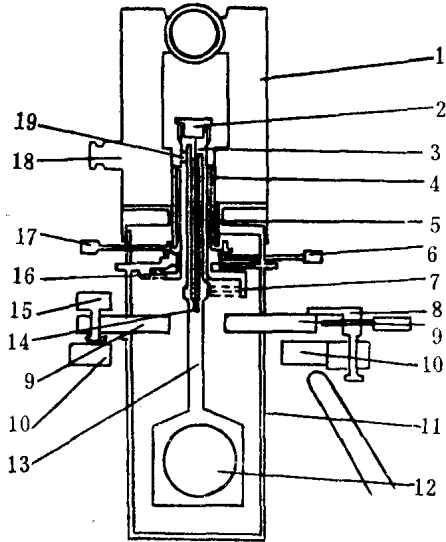


图1-11 KT-1下架式陀螺经纬仪

1—经纬仪 2—悬挂带上固定端
3—悬挂带 5—经纬仪空心竖轴
7—导流丝 12—陀螺马达 13—悬挂柱

第二阶段，基本上是研制下架悬挂式陀螺经纬仪。仪器的结构特征是：利用金属悬挂带把陀螺房于空气中悬挂在经纬仪空心竖轴之下，悬挂带上端与经纬仪的壳体相固连，采用导流丝直接供电方式，附有携带式蓄电池组和晶体管变流器。

具有代表性的下架悬挂式陀螺经纬仪是德国的KT-1，如图