



高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程

# 水利工程测量 (第5版)

主编 河海大学 岳建平  
武汉大学 邓念武

第十卷



中国水利水电出版社  
www.waterpub.com.cn



高等学校水利学科教学指导委员会组织编审

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程

# 水利工程测量 (第5版)

主 编 河海大学 岳建平  
武汉大学 邓念武



中国水利水电出版社  
[www.waterpub.com.cn](http://www.waterpub.com.cn)

·北京·

## 内 容 提 要

本教材在高等学校水利学科教学指导委员会的指导下,由河海大学和武汉大学共同进行编写。全书共分十七章:第一章至第五章介绍测量学的基本概念、基本原理,测量仪器的构造、使用、检验和校正方法,以及测量误差的基本知识;第六章至第十章介绍小地区控制测量,全球定位系统,大比例尺地形图的测绘,地形图的应用;第十一章至第十七章介绍施工测量的基本工作,大坝、隧洞施工测量,渠道和线路工程测量;工业与民用建筑施工测量以及大坝变形观测的有关内容。

本教材主要适用于水利水电工程专业、农业水利工程、港口与航道工程专业本科教学使用,同时也可用于土木工程、环境工程、交通工程、城市规划、农业和林业等专业的教学,以及工程技术人员的参考书。

### 图书在版编目(CIP)数据

水利工程测量 / 岳建平, 邓念武主编. -- 5版. --  
北京: 中国水利水电出版社, 2017.8  
普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高等学校  
水利学科专业规范核心课程教材. 水利水电工程  
ISBN 978-7-5170-5809-0

I. ①水… II. ①岳… ②邓… III. ①水利工程测量  
—高等学校—教材 IV. ①TV221

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第212971号

书 名	普通高等教育“十一五”国家级规划教材 高等学校水利学科专业规范核心课程教材·水利水电工程 <b>水利工程测量(第5版)</b>
作 者	SHUILI GONGCHENG CELIANG 主编 河海大学 岳建平 武汉大学 邓念武
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (营销中心)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	三河市鑫金马印装有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 19印张 450千字
版 次	1979年6月第1版第1次印刷 2017年8月第5版 2017年8月第1次印刷
印 数	0001—5000册
定 价	<b>45.00元</b>

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社营销中心负责调换

版权所有·侵权必究

# 高等学校水利学科专业规范核心课程教材

## 编 审 委 员 会

主 任 姜弘道 (河海大学)

副主任 王国仪 (中国水利水电出版社) 谈广鸣 (武汉大学)  
李玉柱 (清华大学) 吴胜兴 (河海大学)

### 委 员

周孝德 (西安理工大学)

李建林 (三峡大学)

刘 超 (扬州大学)

朝伦巴根 (内蒙古农业大学)

任立良 (河海大学)

余锡平 (清华大学)

杨金忠 (武汉大学)

袁 鹏 (四川大学)

梅亚东 (武汉大学)

胡 明 (河海大学)

姜 峰 (大连理工大学)

郑金海 (河海大学)

王元战 (天津大学)

康海贵 (大连理工大学)

张展羽 (河海大学)

黄介生 (武汉大学)

陈建康 (四川大学)

冯 平 (天津大学)

孙明权 (华北水利水电学院)

侍克斌 (新疆农业大学)

陈 楚 (水利部人才资源开发中心)

孙春亮 (中国水利水电出版社)

秘 书 周立新 (河海大学)

丛书总策划 王国仪

# 水利水电工程专业教材编审分委员会

主任 余锡平（清华大学）

副主任 胡 明（河海大学）

姜 峰（大连理工大学）

## 委 员

张社荣（天津大学）

胡志根（武汉大学）

李守义（西安理工大学）

陈建康（四川大学）

孙明权（华北水利水电学院）

田 斌（三峡大学）

李宗坤（郑州大学）

唐新军（新疆农业大学）

周建中（华中科技大学）

燕柳斌（广西大学）

罗启北（贵州大学）

# 总 前 言

随着我国水利事业与高等教育事业的快速发展以及教育教学改革的不断深入,水利高等教育也得到很大的发展与提高。与1999年相比,水利学科专业的办学点增加了将近一倍,每年的招生人数增加了将近两倍。通过专业目录调整与面向新世纪的教育教学改革,在水利学科专业的适应面有很大拓宽的同时,水利学科专业的建设也面临着新形势与新任务。

在教育部高教司的领导与组织下,从2003年到2005年,各学科教学指导委员会开展了本学科专业发展战略研究与制定专业规范的工作。在水利部人教司的支持下,水利学科教学指导委员会也组织课题组于2005年年底完成了相关的研究工作,制定了水文与水资源工程,水利水电工程,港口、航道与海岸工程以及农业水利工程四个专业规范。这些专业规范较好地总结与体现了近些年来水利学科专业教育教学改革的成果,并能较好地适用不同地区、不同类型高校举办水利学科专业的共性需求与个性特色。为了便于各水利学科专业点参照专业规范组织教学,经水利学科教学指导委员会与中国水利水电出版社共同策划,决定组织编写出版“高等学校水利学科专业规范核心课程教材”。

核心课程是指该课程所包括的专业教育知识单元和知识点,是本专业的每个学生都必须学习、掌握的,或在一组课程中必须选择几门课程学习、掌握的,因而,核心课程教材质量对于保证水利学科各专业的教学质量具有重要的意义。为此,我们不仅提出了坚持“质量第一”的原则,还通过专业教学组讨论、提出,专家咨询组审议、遴选,相关院、系认定等步骤,对核心课程教材选题及其主编、主审和教材编写大纲进行了严格把关。为了把本套教材组织好、编著好、出版好、使用好,我们还成立了高等学校水利学科专业规范核心课程教材编审委员会以及各专业教材编审分委员会,对教材编纂

与使用的全过程进行组织、把关和监督。充分依靠各学科专家发挥咨询、评审、决策等作用。

本套教材第一批共规划 52 种，其中水文与水资源工程专业 17 种，水利水电工程专业 17 种，农业水利工程专业 18 种，计划在 2009 年年底之前全部出齐。尽管已有许多人为本套教材作出了许多努力，付出了许多心血，但是，由于专业规范还在修订完善之中，参照专业规范组织教学还需要通过实践不断总结提高，加之，在新形势下如何组织好教材建设还缺乏经验，因此，这套教材一定会有各种不足与缺点，恳请使用这套教材的师生提出宝贵意见。本套教材还将组织出版配套的立体化教材，以利于教、便于学，更希望师生们对此提出建议。

高等学校水利学科教学指导委员会

中国水利水电出版社

2008 年 4 月

## 第5版前言

《水利工程测量》是在河海大学张慕良和武汉大学叶泽荣主编的《水利工程测量》的基础上,按照高等学校“水利工程测量”课程教学大纲的要求,总结多年教学实践经验,广泛征求同行的意见和建议,结合测绘领域的新技术和新方法,经多次修订改版,由河海大学和武汉大学共同编写而成。在高等学校水利学科教学指导委员会的指导下,本教材被教育部批准为普通高等教育“十一五”国家级规划教材,并被确定为水利水电工程专业规范核心课程教材。

近年来,测绘学科在理论、技术、产品种类、服务对象等方面都发生了很大的变化,传统的测量设备逐步已淡出历史舞台,较少在生产实际中应用。为顺应形势发展的要求,对本教材的内容作适当修订。

本次修订教材的总体框架基本不变,内容全面反映最新的测绘理论和技术,如:全站仪、电子水准仪、GNSS接收机等,同时反映最新的测绘有关规范的要求。对于传统的测绘技术内容,作适当的精简,对部分过时的内容进行了删减。

本教材以基础理论和基本概念为重点,力求理论与实际相结合,传统技术与现代技术相对照,重点和难点详细阐述分析,各部分内容由浅入深,循序渐进。

本教材主要适用于水利水电工程专业、农业水利工程、港口与航道工程等专业的本科教学,同时也可用于土木工程、环境工程、交通工程、城市规划、农业和林业等专业的教学,以及工程技术人员的参考书。

本教材由邓念武(第一、八、十七章)、金银龙(第二、三、四章)、兰孝奇(第五、十一章)、岳建平(第六、七章)、徐佳(第九、十章)、张晓春(第十二、十三、十四章)、梅红(第十五、十六章)修订。

本教材1979年出版的第1版由华东水利学院测量教研组集体编写,张慕良、白忠良、沈传良、蔡卜修改定稿。由武汉水利电力学院测量教研组主审。

1984年出版的第2版由华东水利学院测量教研室张慕良、白忠良、沈传良、蔡卜负责修订。修订初稿由白忠良、蔡卜执笔,张慕良主编定稿。由清华大学刘永明主审。



1994年出版的第3版由叶泽荣、章书寿、张慕良、蔡卜、夏良椿编写，张慕良统稿。由西北农业大学沈君何审稿。

本教材2008年出版的第4版由叶泽荣（第1、2、3、4、17章）、兰孝奇（第5、11章）、岳建平（第6、7章）、邓念武（第8、12章）、黄晓时（第9、10章）、张晓春（第13、14章）、梅红（第15、16章）编写。全书由邓念武和岳建平统稿，武汉大学龚玉珍教授审稿。

由于测绘技术发展迅猛，再加本书编者的有限水平，书中缺点错误难免，敬请读者批评指正。

编者

2017年4月

# 第1版前言

---

根据水利电力部 1978 年 1 月制订的水利类专业教材编审规划，3 月在南京，由华东水利学院负责召集有十二所院校及生产单位参加的“水利工程测量”编写大纲讨论会，按照会上拟定的编写大纲，编写了这本书，作为水利类有关专业的试用教材。

本教材编写中力求对测量的基本概念、基本理论和基本操作有所加强，注意保持本学科必要的系统性，同时结合生产实践进行了必要的理论分析，并简要地介绍了国内外有关的测量新技术。

本教材由华东水利学院测量教研组集体编写，由张慕良、白忠良、沈传良、蔡卜四同志修改定稿。

由武汉水利电力学院测量教研组主审，参加审稿的有江苏省水利勘测设计院、清华大学、重庆建筑工程学院及江苏农学院等。审稿中提供了许多宝贵意见，为我们修改给予很大帮助，于此表示衷心的感谢。我们热忱希望广大师生及本书读者对书中缺点错误给予批评指正。

编者

一九七八年十一月

# 目 录

总前言

第 5 版前言

第 1 版前言

<b>第一章 绪论</b> .....	1
第一节 水利工程测量的任务 .....	1
第二节 地面上点位的确定 .....	1
第三节 用水平面代替水准面的限度 .....	6
第四节 测量工作的基本原则 .....	7
第五节 测绘科学的发展概况 .....	8
<b>第二章 水准仪及水准测量</b> .....	12
第一节 水准测量原理 .....	12
第二节 水准仪 .....	12
第三节 水准测量的一般方法和要求 .....	21
第四节 水准路线闭合差的调整与高程计算 .....	24
第五节 微倾式水准仪的检验和校正 .....	26
第六节 水准测量误差产生的原因及消减方法 .....	29
<b>第三章 经纬仪及其使用</b> .....	33
第一节 水平角测量原理 .....	33
第二节 光学经纬仪 .....	33
第三节 电子经纬仪 .....	37
第四节 水平角测量 .....	40
第五节 竖直角测量 .....	44
第六节 经纬仪的检验和校正 .....	46
第七节 经纬仪测量的误差及其消减方法 .....	51
<b>第四章 距离测量及直线定向</b> .....	54
第一节 传统距离测量方法 .....	54
第二节 电磁波测距 .....	63
第三节 直线定向 .....	70

第四节	全站仪 .....	73
<b>第五章</b>	<b>测量误差的基本知识 .....</b>	<b>83</b>
第一节	测量误差的来源及其分类 .....	83
第二节	偶然误差的特性 .....	84
第三节	衡量精度的标准 .....	87
第四节	观测值函数的中误差——误差传播定律 .....	88
第五节	测量精度分析举例 .....	92
第六节	等精度观测的平差 .....	94
第七节	不等精度观测的平差 .....	96
<b>第六章</b>	<b>平面控制测量 .....</b>	<b>100</b>
第一节	国家平面控制网和图根控制网 .....	100
第二节	经纬仪导线测量 .....	102
第三节	三角测量 .....	108
第四节	前方交会定点 .....	109
第五节	全球导航卫星系统控制测量 .....	112
<b>第七章</b>	<b>高程控制测量 .....</b>	<b>116</b>
第一节	概述 .....	116
第二节	三、四等水准测量 .....	117
第三节	三角高程测量 .....	120
第四节	跨河水准测量 .....	122
<b>第八章</b>	<b>全球导航卫星系统 .....</b>	<b>125</b>
第一节	概述 .....	125
第二节	GPS 的组成 .....	126
第三节	GPS 坐标系统和定位原理 .....	128
第四节	北斗卫星导航系统 .....	132
第五节	GNSS 控制测量 .....	134
第六节	GNSS 实时动态测量 .....	138
第七节	GNSS 的应用 .....	140
<b>第九章</b>	<b>地形图的测绘 .....</b>	<b>142</b>
第一节	地形图的基本知识 .....	142
第二节	地形图的传统测绘方法 .....	151
第三节	地面数字测图方法 .....	155
第四节	水下地形的测绘 .....	160
<b>第十章</b>	<b>地形图的应用 .....</b>	<b>166</b>
第一节	概述 .....	166
第二节	高斯平面直角坐标 .....	166

第三节	地形图的分幅和编号	168
第四节	地形图的选用	173
第五节	地形图应用的基本内容	176
第六节	地形图在水利规划设计工作中的应用	177
第七节	图上面积量算	179
第八节	数字地形图的应用	180
<b>第十一章</b>	<b>施工放样的基本工作</b>	<b>184</b>
第一节	概述	184
第二节	施工控制网的布设	184
第三节	距离、水平角和高程的放样	187
第四节	测设放样点平面位置的基本方法	189
第五节	圆曲线的测设	191
<b>第十二章</b>	<b>大坝施工测量</b>	<b>196</b>
第一节	土坝的控制测量	196
第二节	土坝清基开挖与坝体填筑的施工测量	199
第三节	混凝土坝的施工控制测量	201
第四节	混凝土坝清基开挖线的放样	203
第五节	混凝土重力坝坝体的立模放样	203
<b>第十三章</b>	<b>隧洞施工测量</b>	<b>208</b>
第一节	概述	208
第二节	洞外控制测量	208
第三节	隧洞掘进中的测量工作	211
第四节	竖井和旁洞的测量	214
第五节	隧洞的贯通误差	216
<b>第十四章</b>	<b>渠道测量</b>	<b>218</b>
第一节	渠道选线测量	218
第二节	中线测量	219
第三节	纵断面测量	221
第四节	横断面测量	223
第五节	土方计算	225
第六节	渠道边坡放样	227
第七节	数字地形图在渠道测量中的应用	228
<b>第十五章</b>	<b>线路工程测量</b>	<b>232</b>
第一节	概述	232
第二节	线路初测	232
第三节	线路定测	233

第四节	线路施工测量	242
第五节	桥梁施工测量	246
<b>第十六章</b>	<b>工业与民用建筑施工测量</b>	<b>250</b>
第一节	概述	250
第二节	工业厂房施工测量	253
第三节	高层建筑施工测量	258
第四节	高塔柱施工测量	262
第五节	竣工测量	265
<b>第十七章</b>	<b>大坝变形监测</b>	<b>267</b>
第一节	概述	267
第二节	视准线法观测水平位移	270
第三节	激光准直观测大坝变形	273
第四节	引张线法观测水平位移	276
第五节	前方交会法观测水平位移	278
第六节	挠度观测	280
第七节	垂直位移观测	281
第八节	观测资料的整编和分析	283
<b>参考文献</b>		<b>287</b>

# 第一章 绪 论

## 第一节 水利工程测量的任务

测量学是研究地球的形状和大小，确定地球表面（包括空中、地面和海底）的点位关系，并对这些空间位置信息进行处理、存储和管理的一门科学。

随着科学技术的发展，测量学已发展为多个学科。

研究在地球表面大区域内建立国家大地控制网，测定地球形状和大小，以及地球重力场的理论、技术和方法的学科，称为大地测量学。随着航天技术的发展，利用卫星从远距离对地面进行测量，形成了卫星大地测量学这一门新兴的学科。

研究小区域内测绘地形图的基本理论、技术和方法的学科，称为地形测量学。

利用摄影像片测定物体的形状、大小和空间位置的方法，称为摄影测量。根据获取像片方式的不同，又分为航天摄影测量、航空摄影测量、地面摄影测量和水下摄影测量。

研究地图及其制作理论、工艺和应用的学科，称为地图制图学。

研究矿山、水利、道路、城市建设等项工程在规划设计、施工和工程管理阶段所进行各种测量工作的学科，称为工程测量学。

水利工程测量是为水利工程建设服务的专门测量，属于工程测量学的范畴，它的主要任务如下。

(1) 为水利工程规划和设计提供所需的地形资料。规划时需提供中、小比例尺地形图及有关信息，建筑物设计时要测绘大比例尺地形图。

(2) 施工阶段要将图上设计好的建筑物按其位置、大小测设于地面，以便据此施工，称为施工放样。

(3) 在施工过程及工程建成管理中，需要定期对建筑物的稳定性及变化情况进行监测，确保工程安全，称为变形观测。

由此可见，测量工作贯穿于工程建设的始终，作为一名水利工作者，必须掌握必要的测量科学知识和技能，才能承担工程勘测、规划设计、施工及管理任务。

本课程在介绍测量基本知识的基础上，对小区域大比例尺地形测图，以及水利工程施工放样和大坝变形观测等主要内容分别进行介绍。

## 第二节 地面上点位的确定

地球表面的形状是错综复杂的。地面上的道路、河流、房屋等称为地物。呈现的各种起伏状态称为地貌。地物和地貌总称为地形。要把地形反映到图上，是通过测定地面上地物和地貌的一些特征点的相互位置来实现的。同样施工放样也是将设计图纸上建筑物轮廓

的特征点测放到地面。鉴于此，下面先研究地面点位置的表示方法。

### 一、地球的形状和大小

测量工作是在地球表面上进行的，要确定地面点的位置，许多基本理论和数据都涉及地球的形体问题，因此首先对地球的形状和大小要有一概略了解。众所周知，地球表面有高山、平原、海洋等起伏变化的地貌。陆地上最高的珠穆朗玛峰高出海平面 8844.43m，海洋最深处是太平洋西部的马里亚纳海沟，深达 10911m，但因地球的半径约为 6371km，故地球表面的起伏相对于地球庞大的体积来说是极微小的。同时，整个地球表面上海洋面积约占 71%，陆地仅占 29%，所以，海水面所包围的形体基本上表示了地球的形状。设想有一个静止的海水面，向陆地延伸形成一个封闭的曲面，这个曲面称为水准面。水准面上每一个点的铅垂线均与该点重力方向相重合。由于潮汐的影响，海水面有涨有落，水准面就有无数个，为此，人们在海滨设立验潮站，进行长期观测，求出平均高度的海水面，称之为大地水准面。大地水准面和铅垂线是测量工作所依据的面和线，并经常会用到。

大地水准面所包围的形体，叫大地体。由于地球内部质量分布不均匀，使得垂线方向具有不规则的变化，因而大地水准面是一个有微小起伏不规则的曲面，这对于测量计算极不方便，因此人们选择一个与大地水准面非常接近的数学面——旋转椭球面，以它所围成的形体来代表地球的形状和大小。这个形体称为旋转椭球体，亦称参考椭球，它是由椭圆 NWSE 绕其短轴 NS 旋转而成的形体（图 1-1），其形状和大小取决于长半径（赤道半径） $a$ 、短半径（旋转轴半径） $b$  和扁率  $f\left(=\frac{a-b}{b}\right)$ 。表 1-1 为几种参考椭球体的元素。

表 1-1 参考椭球体元素

椭球体	年份	$a/m$	$b/m$	$f$	国家或机构
克拉索夫斯基椭球	1940	6378245	6356863	1 : 298.3	苏联
1975 国际椭球	1975	6378140	6356755	1 : 298.25722101	国际大地测量与地球物理联合会
WGS 84 椭球	1984	6378137	6356752.314	1 : 298.257223563	国际大地测量与地球物理联合会

为了使测量成果化算到椭球面上，各国根据本国领土实际情况，采用与大地体接近的

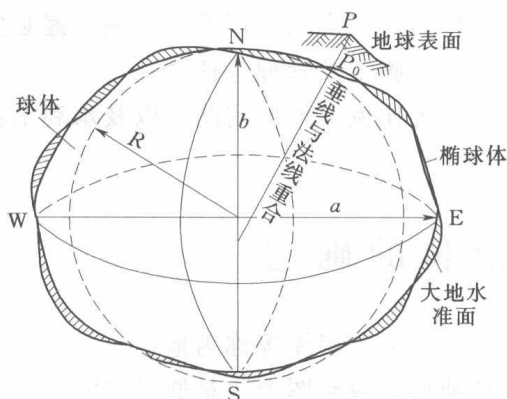


图 1-1 大地水准面与椭球体

椭球体；同时选择地面上一点为大地基准点，亦称大地原点。确定大地原点在椭球面上的位置，作为推算大地坐标的起算点。如图 1-1 所示，地面上选一点  $P$  为大地原点，令  $P$  的铅垂线与椭球面上相应  $P_0$  点的法线重合，并使这点的椭球面与大地水准面相切，而且使本国范围内的椭球面与大地水准面尽量接近。

我国曾建立 1954 年北京坐标系，该坐标系是以苏联普尔科沃天文台的大地基准点为大地原点，以克拉索夫斯基椭球为参



考椭球，并与苏联 1942 年坐标系进行三角锁联测，通过计算建立的我国大地坐标系；1978 年 4 月在西安召开全国天文大地网平差会议，决定重新定位，建立我国新的坐标系。因此有了 1980 年国家大地坐标系。1980 年国家大地坐标系采用地球椭球基本参数为 1975 年国际大地测量与地球物理联合会第十六届大会推荐的数据。该坐标系的大地原点设在我国中部的陕西省泾阳县永乐镇。

由于椭球体的扁率很小，在普通测量中又近似地把地球视作圆球体，其平均半径约为 6371km。当测区范围较小时，又可把球面视为平面，这些将在后面论述。

## 二、地面上点位的表示方法

确定地面点或空间目标的位置是测量工作的基本任务。要确定地面点的空间位置，需要建立坐标系，然后用点的三维坐标表示点的位置，以确定其唯一性。

### (一) 地球空间直角坐标系

坐标系是确定地面点或空间目标位置所采用的参考系。地球空间坐标系主要有参心坐标系、地心坐标系等。

#### 1. 参心坐标系

参心坐标系的坐标原点设在参考椭球的中心，参考椭球的中心与地球的质心是不重合的。我国建立的 1954 年北京坐标系和 1980 年西安坐标系，都属于参心坐标系。参心空间直角坐标系的原点位于参考椭球中心， $Z$  轴为参考椭球体的旋转轴，指向北极方向， $X$  轴为起始子午线与赤道面的交线， $Y$  轴垂直于  $X$ 、 $Z$  轴， $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴构成右手正交坐标系，如图 1-2 所示。

#### 2. 地心坐标系

坐标原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心的坐标系为地心坐标系。2000 国家大地坐标系 (China Geodetic Coordinate System, CGCS 2000) 属于地心坐标系，2000 国家大地坐标系的  $Z$  轴由原点指向历元 2000.0 的地球参考级方向，该历元的指向由国际时间局给定的历元为 1984.0 作为初始指向来推算，定向的时间演化保证相当于地壳不产生残余的全球旋转； $X$  轴由原点指向格林尼治参考子午线与地球赤道面 (历元 2000.0) 的交点； $Y$  轴与  $Z$  轴、 $X$  轴构成右手正交坐标系。2000 国家大地坐标系的尺度为在引力相对论意义下的局部地球框架下的尺度。

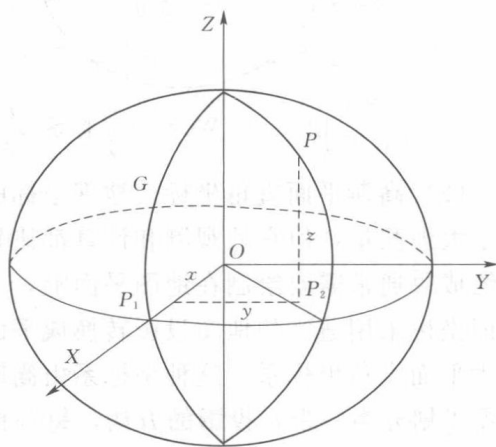


图 1-2 参心坐标系

美国全球定位系统 (GPS) 所采用的 WGS 84 坐标系也属于地心空间直角坐标系，它的原点位于地球质心  $M$ ， $Z$  轴指向国际时间局 BIH1984.0 定义的协议地球极方向 (CTP)， $X$  轴指向 BIH1984.0 的零子午圈与 CTP 赤道的交点， $Y$  轴垂直于  $X$ 、 $Z$  轴， $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  轴构成右手正交坐标系，如图 1-3 所示。

如上所述，1954 年北京坐标系和 1980 年西安坐标系均为参心坐标系，2008 年 7 月 1 日开始我国统一使用 2000 国家大地坐标系，并设 8~10 年过渡期。上述 3 种坐标系以及