

高速铁路施工测量

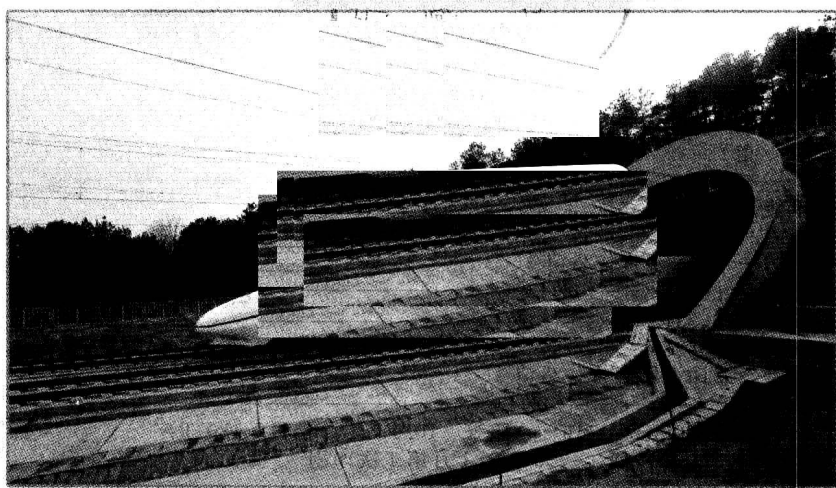
周建东 譙生有 编著
范恒秀 主审



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

高速铁路施工测量

周建东 谯生有 编著
范恒秀 主审



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书介绍了高速铁路测量技术发展的概况,高速铁路测量基本知识,高速铁路精密控制网施工复测、控制网加密,隧道、桥梁施工测量,高速铁路沉降观测,轨道控制网 CPⅢ测设,轨道基准网测量以及轨道安装测量等知识。

本书可以作为高速铁路施工测量的培训教材和大专院校师生学习的参考书,也可以作为从事高速铁路测量工作的专业技术人员学习专业知识的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高速铁路施工测量/周建东,谯生有编著. —西安:西安交通大学出版社, 2011. 1
ISBN 978-7-5605-3763-4

I. ①高… II. ①周…②谯… III. ①高速铁路-铁路工程-施工测量 IV. ①U238②U212.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 201574 号

书 名 高速铁路施工测量
编 著 周建东 谯生有
责任编辑 桂 亮

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)
网 址 <http://www.xjtpress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)
传 真 (029)82668280
印 刷 陕西奇彩印务有限责任公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 10.125 字数 180 千字
版次印次 2011 年 1 月第 1 版 2011 年 1 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3763-4/U·7
定 价 22.00 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdlgy@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

编 委 会

教材编审组长：范恒秀

副组长：孙群实 路庆立

成 员：周刚毅 郝小苏 周建军

周建东 譙生有 曹文科

曾 波

前 言

高速铁路轨道工程应具有高平顺性、高可靠性和高稳定性,以确保高速行车的安全、平稳和舒适。因此,高速铁路的施工测量是高速铁路工程建设过程中的一项至关重要的基础工作,打造毫米级的测量精度是高速铁路建设能否成功的关键,是高速铁路轨道施工质量的重要保证。

我国高速铁路建设刚刚起步,高铁测量人员的实践经验明显不足,急需培养一大批具备高铁施工测量技能的测量技术人员,以适应我国高铁快速发展的需要。高速铁路测量要求精度高、技术新,测量方法和理念与普通铁路测量完全不同。因此,现场测量技术人员应充分明确高速铁路工程测量的具体内容,根据不同阶段对控制网精度的要求,采取相应的测量仪器、测量方法、精度等级进行施工测量。

为了使现场测量人员能系统、全面地了解高速铁路施工测量的具体内容,我们组织编写了这本《高速铁路施工测量》教材。本教材力求知识面宽,实用性强,注重理论联系实际,突出实践应用知识。编写的目的是提高现场施工技术人员在施工测量中遇到问题时分析问题和解决问题的能力。

书中介绍了高速铁路测量技术发展的概况,高速铁路测量基本知识,精密控制网施工复测,隧道、桥梁施工测量,高速铁路沉降观测,轨道控制网 CPⅢ 测设,轨道基准网测量,轨道安装测量, GPS 基本知识等。

本教材由周建东、谯生有负责编写。其中第 1 章、第 2 章、第 3 章、第 4 章、第 5 章、第 6 章由周建东负责编写,第 7 章、第 8 章由谯生有负责编写,第 9 章由曾波、曹文科负责编写。

编写过程中,参考了相关的文献、教材。由于编写水平有限,时间仓促,书中难免有不妥及错误之处,恳请各位同行批评指正。

中铁一局编审组

2010 年 10 月

目 录

1	高速铁路施工测量概况	(1)
1.1	高速铁路施工测量的发展概况	(1)
1.2	测量工作概述	(2)
1.3	高速铁路施工测量工作流程	(4)
2	测量学基本知识	(6)
2.1	地球的形状、大小及其基准面	(6)
2.2	测量坐标系的概念	(7)
2.3	高斯投影	(10)
2.4	常用坐标系统	(12)
2.5	水准测量误差来源及减弱措施	(14)
2.6	水平角观测误差及减弱措施	(17)
2.7	全站仪使用	(18)
2.8	边长投影归算	(21)
3	精密控制网施工复测	(23)
3.1	施工复测内容	(23)
3.2	控制网复测技术要求	(25)
3.3	CPI 控制网复测实施	(32)
3.4	CPⅡ 控制网复测实施	(35)
3.5	二等水准网复测实施	(36)
3.6	施工控制网加密测量	(38)
4	隧道施工测量	(42)
4.1	概述	(42)
4.2	隧道控制测量的方法	(44)

4.3	隧道贯通误差	(47)
4.4	洞外控制测量	(48)
4.5	洞内控制测量	(54)
4.6	隧道贯通误差预计	(57)
4.7	隧道贯通误差的测定与调整	(58)
4.8	竣工测量	(60)
5	桥梁施工测量	(62)
5.1	桥梁施工测量的概念	(62)
5.2	复杂特大桥施工控制网建立	(63)
5.3	桥梁施工控制网的复测	(65)
5.4	桥梁墩台定位测量	(65)
6	GPS 测量	(68)
6.1	GPS 定位系统概述	(68)
6.2	GPS 测量误差来源	(70)
6.3	GPS 网的设计	(71)
6.4	GPS 网的平差	(74)
7	线下工程结构物变形监测	(75)
7.1	高速铁路变形监测职责及要求	(76)
7.2	变形监测网的建立	(77)
7.3	变形监测基本要求	(80)
7.4	路基变形监测	(83)
7.5	桥涵变形监测	(89)
7.6	隧道基础沉降观测	(95)
7.7	变形监测评估	(97)
7.8	评估报告的汇编	(100)
8	轨道控制网(CPⅢ)测量	(102)
8.1	CPⅢ控制网测量内容及作业流程	(102)
8.2	CPⅡ控制网复测及加密测量	(103)
8.3	CPⅢ控制点的埋设与编号	(104)
8.4	CPⅢ网网形设计	(107)

8.5	CPⅢ网平面测量	(112)
8.6	CPⅢ网高程测量	(114)
8.7	CPⅢ网数据处理	(118)
8.8	CPⅢ网的评估	(121)
8.9	CPⅢ网的复测与维护	(122)
9	轨道施工测量	(124)
9.1	无砟轨道混凝土底座及支承层放样	(125)
9.2	轨道基准网测量	(128)
9.3	轨道安装测量	(136)
9.4	道岔安装测量	(145)
9.5	轨道精调测量	(150)
参考文献		(151)

1 高速铁路施工测量概况

1.1 高速铁路施工测量的发展概况

根据铁路技术等级标准的划分,高速铁路是指旅客列车设计行车速度 250~350 km/h 的铁路。高速铁路轨道工程具有高平顺性、高可靠性和高稳定性,以确保高速行车的安全、平稳和舒适。因此,高速铁路的施工测量是高速铁路工程建设过程中的一项至关重要的基础工作。打造毫米级的测量精度是高速铁路建设能否成功的关键,是高速铁路轨道施工质量的重要保证。为给高速铁路工程建设及运营维护提供可靠的测量保障,现场测量技术人员应充分明确高速铁路工程测量的具体内容,根据不同阶段对控制网精度的要求,采取相应的测量仪器、测量方法、精度等级进行施工测量。

我国传统的铁路测量方法是按照切线上的转点和曲线上的交点、副交点来控制线路中线,设计单位提供的测量桩点主要有直线上的转点、曲线上的副交点。这种采用定测中线控制桩作为施工单位的线路平面测量控制基准,存在极大弊端。一是实际工作中,由于设计单位的线路定测的测量精度很低,施工单位要对误差的调整、曲线的调整等做大量工作。二是工程开工后,这些中线控制桩均不复存在,铁路的平面测量控制基准也就不复存在,这为后续的测量工作及线路竣工和运营阶段的线路复测造成极大麻烦。

随着测绘技术的进步和发展以及测量设备的不断更新,特别是高速铁路建设高峰期的到来,我国铁路测量技术、装备和理念都有了很大的发展。现在铁路设计不再采用传统的铁路测量方法,设计和施工单位普遍采用全站仪或 GPS 测量技术进行线路的定测和施工复测。勘测、施工放线均使用 CPⅠ、CPⅡ 平面控制点或加密控制点来测设理论中线,中线控制桩已不再作为勘测、施工放线的控制基准。采用全站仪极坐标法或 GPS RTK 进行放线,中线桩是从 CPⅠ 或 CPⅡ 控制点上用极坐标法放线,现场放出交点或副交点对施工测量已经没有作用。极坐标法放线的误差不会积累,中线桩的误差不影响中线测量的精度,不必进行中线桩的贯通测量。为了验证中线桩的可靠性,采用不同控制点用极坐标法放线进行验证。

目前我国铁路的工程测量要求铁路的勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网必须统一坐标系统和起算基准,即“三网合一”。这样不但大大地提高了勘测精度,也为施工单位的施工复测、施工控制网测设、桩点加密、施工放线及运营单位的维护提供了极大的方便。保证了铁路在勘测、施工、竣工和运营各阶段测量数据的基准统一。

高速铁路施工控制网是为高速铁路工程施工提供控制基准的各级平面高程控制网。包括基础平面控制网 CP I、线路平面控制网 CP II、线路水准基点控制网,以及在此基础上加密的施工平面、高程控制点和为轨道铺设而建立的轨道控制网 CP III。

高速铁路施工测量目的就是对设计单位平面高程控制网进行施工复测,对重点工程地段建立独立平面、高程控制网,根据需要加密施工控制网,对结构物的平面位置及高程放样,观测沉降,建立 CP III 轨道控制网,无砟轨道铺定位测量,轨道精调,工程竣工后进行的竣工测量等。

1.2 测量工作概述

1.2.1 测量工作的基本原则

高程测量、水平角测量、水平距离测量是测量的三项基本工作。由于任何一种测量工作都会产生不可避免的误差,所以每次测量时都必须按照一定的程序和方法,以防止误差的积累。若从一点开始逐点进行测量,前一点测量的误差会传递到下一点,依次积累,随着范围扩大,最后可能使点位误差超出所要求的限度。

为了限制误差传递和误差积累,提高测量精度,测量工作必须遵循“先整体后局部,先控制后碎部,由高级到低级”的原则来组织实施。

测量工作必须小心谨慎地进行,一切测量工作都必须随时检查,杜绝错误。没有对前阶段工作的检查,就不能进行下一阶段的工作,这是测量工作中所必须坚持的原则之一。为了不使误差积累,必须遵循“先整体后局部”和“先控制后碎部”的原则;为了保证成果的质量,必须坚持随时检查的原则,这样才能保证测量成果的质量和较高的工作效率。

1.2.2 从事测量工作的要求

测量成果质量的优劣,直接影响到工程质量,无论是测量误差超限或产生错误

时,都会使工程质量降低或造成经济损失,因此从事测量的工作人员,应具备扎实的测量技能、高度的责任心,对工作精益求精,严格按照设计和规范要求的精度与方法进行测量工作。

严格检核制度,无论是内业或外业,对测量成果都必须进行必要的检核,防止错误的发生。

测量记录要清楚,注意保持原始记录和计算结果的原始性,实事求是,尊重事实。不合格时,应分析原因,进行重测。

测量工作者要爱护测量仪器和工具,轻拿轻放,避免震动,要掌握正确的操作方法。

1.2.3 测量人员具备的专业技术水平

测绘是一门应用科学,是技术密集型行业。测量人员仅仅具有一定理论知识水平是不够的,仅仅靠理论知识是无法产生测绘成果的,必须具备一定的测绘专业技能,必须能够掌握和熟练操作测绘仪器设备,必须具备一定的生产实践经验,这就是专业技术水平,包括以下三方面。

一是必须对所应当完成的测绘成果十分熟悉,了解怎样完成这些测绘成果。一个测绘人员承担一项测绘任务,必须非常清楚应当完成哪些测绘成果,要完成的测绘成果是什么样的,需要通过哪些程序和方法完成这些测绘成果等。如果一名测绘人员对这些起码的常识都不清楚,是无法完成测绘项目的。了解和熟悉这些常识,不是仅靠理论知识就能解决的,只有经过实践,才能完美地掌握。

二是必须具备仪器设备操作技能。前面我们已经谈到,测绘成果的生产是依靠测绘仪器设备来完成的,测绘仪器设备是完成测绘项目的工具,没有相应的仪器设备,不可能完成任何测绘成果。因此,测绘人员熟练掌握和使用测绘仪器设备是一项基本技能,是保证工作效率和保证测绘成果质量的基础,是完成测绘项目的基本条件。一个测绘项目,委托单位提出了工期要求和质量要求,如果测绘人员不能熟练使用测绘仪器设备,就不可能保质、保量、保证工期地完成。例如,高铁 CPⅠ、CPⅡ 测量需要操作 GPS 接收机,CPⅢ 测量需要操作智能型全站仪,沉降观测需要操作数字水准仪,放样需要操作 GPS RTK 等。

三是必须熟悉和掌握所完成测绘项目的标准、规范,并能正确地应用它,熟悉测绘成果质量的要求,这也是一项基本技能。对于标准、规范,并不是从书本上读一读、学一学就能理解和掌握的,必须结合测绘工作实践去应用,才能理解和掌握。如果不通过实践,很难搞清这些标准规范在具体测绘中是如何体现的。

1.2.4 测量人员具备的能力

从事测绘活动,特别是优质高效地组织完成测绘项目,仅仅具有理论知识和基本技术水平还是不够的,还要具备一定的能力。这些能力主要体现在以下几方面。

一是测绘项目的技术设计能力。接受测绘项目以后,首先要进行踏勘和技术设计,踏勘是到测区了解现场的实际情况,例如测区的位置、地形情况、已有测绘成果情况、测量首级控制网点情况、交通情况等。踏勘后需要对测绘项目进行技术设计,写出技术设计书。技术设计书是保证测绘项目保质、保量、保工期完成的技术性文件,对完成测绘项目具有决定性的指导作用,是非常重要的基础性工作。没有好的技术设计,测绘项目就很难高质量、高效率地完成。

二是测绘生产的组织能力。测绘是一个工序多、过程比较复杂的工作,是需要一定数量的人参与才能完成的。接受了一个测绘项目,能不能组织人员将其完成,需要具有一定的生产组织能力,必须熟悉测绘项目的工序,必须掌握测绘生产组织过程和方法,必须了解怎样安排人员等。这些能力也是需要经过实践锻炼才能提高的。

三是对测绘成果质量的检查、验收能力。测绘成果完成后,对测绘成果质量的把关也是非常重要的。对成果的检查验收能力要靠实践积累,测绘成果是通过多道工序完成的,大量测绘成果出自野外测量,每一个测绘成果都不相同,检查测绘成果质量不像检查一个简单工业品那样容易,除了依靠标准以外,必须借助于丰富的实践经验,才能准确地判断和发现测绘成果质量问题。

测绘人员的能力是通过其从事测绘工作的资历、业绩、完成测绘成果的数量和质量状况来体现的。例如,从事测绘工作的时间、曾经参与完成的测绘项目、曾经主持完成过的测绘项目、是否参加过技术设计、承担过哪些具体测绘技术操作、自身直接完成的测绘成果的质量和数量等。

1.3 高速铁路施工测量工作流程

高速铁路施工测量包括线下工程测量和无砟轨道测量两大部分的内容,具体测量流程如图 1.1 所示。

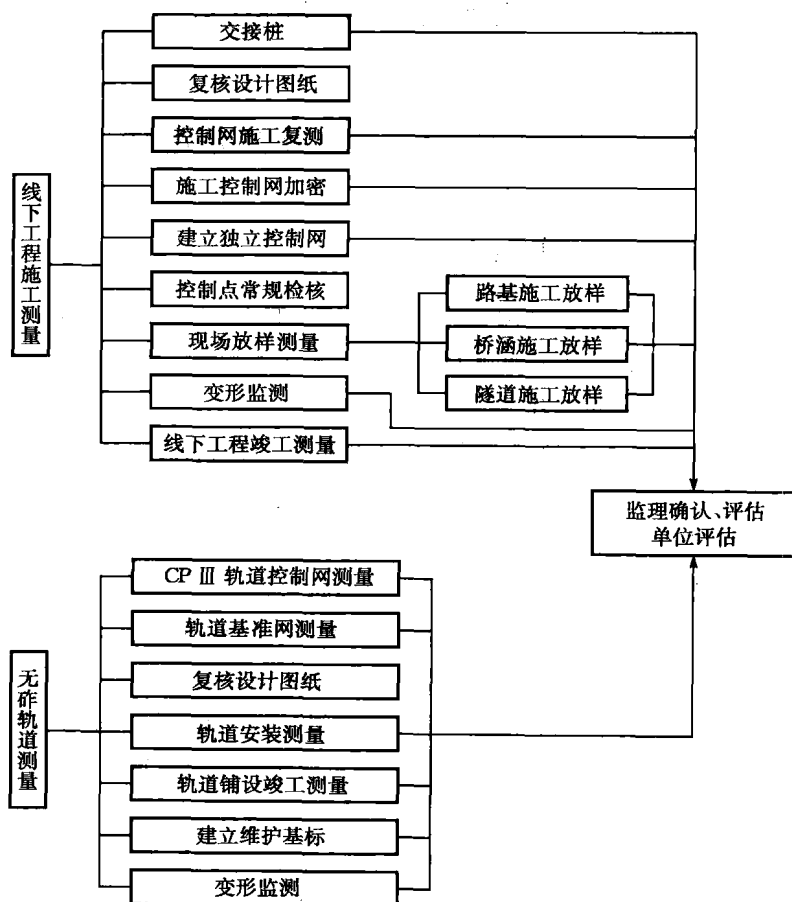


图 1.1 高速铁路施工测量工作流程

2 测量学基本知识

2.1 地球的形状、大小及其基准面

2.1.1 地球的形状和大小

对于测绘技术人员来说,必须掌握测量的基本概念、坐标系的建立、高斯投影的概念等,只有懂得了测量的这些基础知识,在实际工作中,才能正确地使用设计资料,正确地进行施工测量工作。

我们知道测量工作是在地球自然表面上进行的,而地球表面是极不规则的,尽管有大的高低起伏,但与平均半径约为 6371 km 的地球体相比仍然可以忽略不计。地球的表面形状十分复杂,不便于数学式来表达。为了确定地面点的空间位置,首先要选择测量的基准面和基准线。地球总的形状可以认为是被海水包围的球体。设想有一个静止的海洋面向陆地延伸,从而形成一个封闭的曲面,这个封闭的曲面(静止的海洋面)称为**水准面**。海水有潮汐涨落、时高时低,水准面就有不同的高度,所以水准面有无数个。用验潮站所测得的平均海洋面作为地球形状和大小的标准,它所包围的形体称为**大地体**。称平均海平面为**大地水准面**。

重力为地球上一质点受到的地球引力与离心力的合力。测量工作中,重力方向即为吊垂球的垂线方向,也就是仪器整平后的竖轴方向,称为**铅垂线**。当液体表面处于静止状态时,液面必然与铅垂线(重力的作用线)垂直。因此,水准面的特点是曲面上各点均与铅垂线垂直,大地水准面具有同样的特点。大地水准面与铅垂线是测量的基准面和基准线,如图 2.1 所示。

由于地球吸引力的大小与地球内部的质量有关,而地球内部的质量分布又不均匀,这引起地面上各点的铅垂线方向产生不规则的变化,因而,大地水准面实际上是一个有微小起伏的不规则曲面。

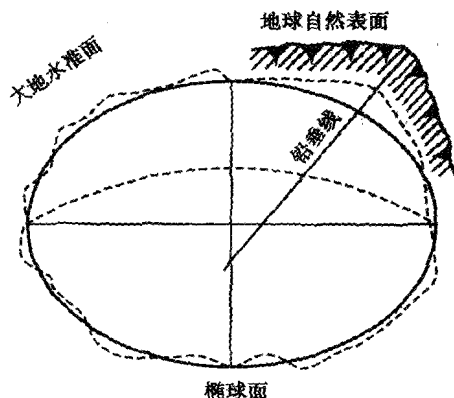


图 2.1 大地水准面、自然表面、椭球体面

2.1.2 参考椭球面

在大地水准面这个不规则的曲面上无法进行测量计算。而旋转椭球是可以数学公式严格表示的。如图 2.2 所示,椭球面绕它的短半轴旋转所形成的椭球,认为是地球的形状。它的大小可由长半轴 a 、短半轴 b 或扁率 f 来决定。这个球体称参考椭球体,称其外表面为参考椭球面。参考椭球面是测量计算的基准面。

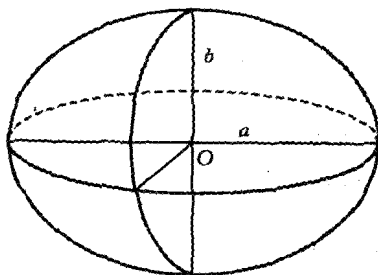


图 2.2 参考椭球体

2.2 测量坐标系的概念

测量工作的实质是确定地面点的空间位置,点的空间位置通常由三个量确定,其中两个量是地面点在大地水准面的平面位置(坐标),第三个量是地面点到大地水准面的铅垂距离(高程)。人们为了描述空间位置,采用了多种方法,从而也产生

了不同的坐标系,如直角坐标系、极坐标系等。坐标系就是描述空间位置的表达形式,即采用什么方法来表示空间位置。在测量中,常用的坐标系有以下几种。

2.2.1 空间直角坐标系

空间直角坐标系的坐标系原点位于参考椭球的中心, z 轴指向参考椭球的北极, x 轴指向起始子午面与赤道的交点, y 轴位于赤道面上,且按右手系与 x 轴呈 90° 夹角。某点在空间中的坐标可用该点在此坐标系的各个坐标轴上的投影来表示(见图 2.3)。

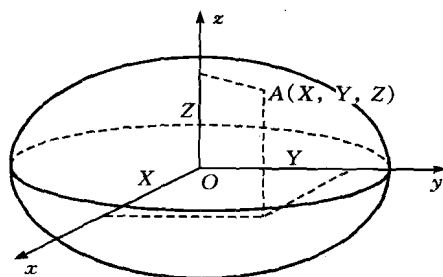


图 2.3 空间直角坐标系

2.2.2 空间大地坐标系

空间大地坐标系是采用大地经度(L)、大地纬度(B)和大地高(H)来描述空间位置的,如图 2.4 所示。纬度是空间的点与参考椭球面的法线和赤道面的夹角。经度是空间中的点与参考椭球的自转轴所在的面和参考椭球的起始子午面的夹角。大地高是空间点沿参考椭球的法线方向到参考椭球面的距离。

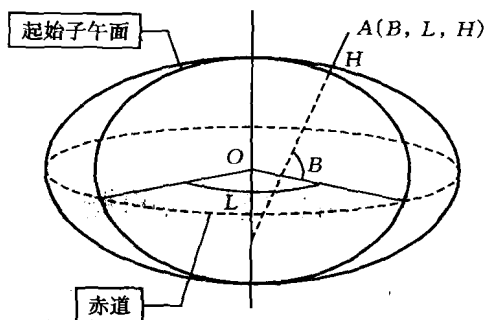


图 2.4 空间大地坐标系

2.2.3 平面直角坐标系

平面直角坐标系是利用投影变换,将空间坐标(空间直角坐标或空间大地坐标)通过某种数学变换映射到平面上,这种变换又称为投影变换。投影变换的方法有很多,如 UTM 投影、Lambuda 投影等,在我国采用的是高斯-克吕格投影,也称为高斯投影。

地面点的平面位置在工程测量上通常采用平面直角坐标系、高斯平面直角坐标系两种。

1. 平面直角坐标系

在小区域内进行测量工作通常是采用平面直角坐标系。研究小范围地面形状和大小时,常把球面的投影面当作平面看待。既然投影面是当作平面,这就可以采用平面直角坐标来表示地面点在投影面上的位置。例如,隧道控制网的施工坐标系,我们通常把隧道的轴线定为 x 轴,垂直于 x 方向定为 y 轴,形成右手系。投影面为隧道进出口轨面标高的平均面,计算时将控制网的测距边长投影至隧道平均高程面即可。

测量工作中所用的平面直角坐标系与数学坐标系有所不同,测量工作以 x 轴为纵轴,一般用它表示南北方向,以 y 轴为横轴,表示东西方向,这是由于在测量工作中以极坐标表示点位时其角度值是以北方为准按顺时针方向计算的夹角。

为实用方便,测量上用的平面直角坐标的原点是假设的。假设原点的位置应使测区内各点的 x 、 y 值为正。在桥隧控制网中,一般选择主要轴线直线段里程为 x 值,这样在该轴线直线段计算出导线点坐标时, x 坐标即为该点里程。例如选择的坐标原点的里程为 DK150+236.48,我们则设该点的 x 坐标为 $x=150\,236.480$ 。

当水平距离为 10 km 时,以水平面代替水准面所产生的距离误差为距离的 $1/1\,217\,700$,现在最精密距离丈量时的容许误差为其长度的 $1/1\,000\,000$ 。因此可得出结论:在半径为 10 km 的圆面积内进行长度的测量工作时,可以不必考虑地球曲率;也就是说可以把水准面当作水平面看待,即实际沿圆弧丈量所得距离作为水平距离,其误差可忽略不计。

2. 高斯平面直角坐标系

当测区范围较大时,超过水平面代替水准面的限度(即面积超过 100 平方千米的范围、带状的道路设计长度超过 10 km),就不能把椭球表面作为水平面看待。铁路线路的长度动辄上千千米,道路的设计必须考虑球面的影响,在统一的系统内进行计算、改正等等。

这时在地面上进行的所有观测量投影到参考椭球面上,而在球面上进行计算