

# 第 1 章 绪 论

## 1.1 高速铁路发展概况

### 1.1.1 世界高速铁路发展简述

早在 1964 年至 1990 年期间，世界范围内便掀起了一次高速铁路建设浪潮，这次发展浪潮由世界上经济最发达的日本、法国、意大利和德国等共同推动。20 世纪 80 年代末至 90 年代中期，高速铁路发展进入了新阶段，以日本、法国和德国为代表，已建成高速铁路的国家开始了高速铁路网规划新阶段。1998 年 10 月在德国柏林召开的第三次世界高速铁路大会，将当前高速铁路的发展定为世界高速铁路发展的第三次高潮。这次高潮波及亚洲、北美洲、澳洲以及整个欧洲，形成了交通领域中铁路的一场复兴运动。

高速铁路在激烈的客运市场竞争中以其速度快、客运量大、能耗低、污染小、安全准时、全天候运行等突出的优势得到了人们的青睐，不但在其发祥地日、法、德等国家占据了城际干线地面交通的主导地位，在世界诸多经济发达国家和地区也迅速扩展，被称为夕阳产业的铁路运输业迎来了又一个春天。高速铁路之所以有如此快速的发展势头，根本原因是基于轮轨关系的高速技术充分发挥了既先进又实用的特点，特别是在中长距离交通中的独特优势。高速铁路作为现代化的交通运输方式，既是成熟的技术也是正在不断发展的技术，在 21 世纪将得到更快的发展，支撑高速行车的高新技术，也将更加完善、不断进步。高速铁路将向着

速度更高、更安全、更舒适、更经济、更环保的方向发展。

## 1.1.2 我国高速铁路的发展与规划

### 1.1.2.1 我国高速铁路的发展

多年来，我国铁路运输不能适应国家经济持续快速发展的需求，成了制约国民经济快速发展的瓶颈。高速铁路速度快、运量大、能耗少、污染小、安全、舒适、占地少，20世纪90年代初，我国铁路专家就提出，中国修建高速铁路势在必行。高速铁路是一系列高科技技术，包括了宇航、冶金、材料、电子、机械等高新技术所形成的综合性的技术配套系统，需要做大量的准备工作。尽管面临很多困难，铁道部门的领导和专家学者仍然在中国必须发展高速铁路这一点上达成了共识，并付出了艰辛努力。

1994年，完全依靠中国自己力量建成的广深准高速铁路开通；1995年，沪宁线成功地进行时速170 km的提速实验；1996年4月1日，京广、京沪等线开行了“夕发朝至”的快速列车。秦沈客运专线是一条以客运为主的双线电气化快速铁路，1999年8月16日全面开工，2003年完工，同年开通运营，线路全长405 km，开通伊始的列车速度即可达到160 km/h，设计速度200 km/h，基础设施预留提速至250 km/h（甚至更高）的条件，能够适应旅客对乘车旅行快速、安全、舒适、方便和准时可靠的需求，可以大大提高铁路客运的竞争能力，从而使铁路客运步入良性循环的轨道。该线在全国路网中的地位非常重要：近期可以利用京秦线富余能力和已经形成的快速线路，形成北京至沈阳的快速通道；远期可以沟通京沪高速铁路和哈大铁路，构成我国东部地区铁路高速客运网。选择客运专线的模式，既解决了进出关运输能力的不足，又为后续建设我国铁路高速客运网迈出了坚实的一步，这是加强铁路自身

发展、增强市场竞争力的需要。

### 1.1.2.2 我国高速铁路的规划

我国中东部地区人口密度大、城市布局集中、运载压力大，适合高速铁路规划建设营运。“九五”时期，针对铁路客运速度慢、运输能力严重不足等突出问题，我国先后进行了三次大提速。在此基础上，以高速铁路建设列入原铁道部《“十五”期间铁路提速规划（2001—2005）》为标志，我国高速铁路建设进入加速期。《“十五”规划》提出：初步建成以北京、上海、广州为中心，连接全国主要城市的全路快速客运网，客运专线旅客列车最高时速达到 200 km 及以上，实现高速铁路、部分繁忙干线客货分线。

《中长期铁路网规划》在 2004 年 1 月国务院常务会议讨论通过，这是国务院批准的第一个行业规划，也是截至 2020 年我国铁路建设的蓝图。正是 2004 年 1 月通过的这份纲领性文件，促使青藏铁路提前一年建成通车，指导全国铁路第六次大面积提速成功实施，让大秦铁路突破世界重载运量极限，更推动京津城际铁路开通运营，开辟了中国高速铁路的新纪元。

2008 年 10 月，国家发展和改革委员会批准了《中长期铁路网规划（2008 年调整）》，原《中长期铁路网规划》正式被新的《中长期铁路网规划（2008 年调整）》所取代。新规划将进一步扩大路网规模，完善布局结构，提高运输质量，体现了原规划快速扩充运输能力、迅速提高装备水平的要求。根据中国《中长期铁路网规划》方案，到 2020 年，我国铁路运营里程将达到 12 万千米。其中，新建高速铁路将达到 1.6 万千米，连接所有省会城市和 50 万人口以上城市，覆盖全国 90% 以上人口。运输能力满足国民经济和社会发展需要，主要技术装备

达到或接近国际先进水平。

我国自实施《中长期铁路网规划》以来，通过借鉴国外高速铁路先进成熟技术，博采众长，坚持原始创新、集成创新和引进消化吸收再创新，立足于提高自主创新能力，在引进和掌握先进技术的基础上，统一搭建了我国高速铁路的技术平台，走出了一条铁路自主创新的成功之路，建成了一大批高质量、高水平的高速铁路客运专线，逐步形成了适合我国国情和路情、有自己特色的高速铁路自主技术体系。截至 2013 年年底，我国高速铁路营业里程 11 152 km，其中时速 300~350 km 线路 6 354 km，时速 200~250 km 线路 4 798 km。“四纵四横”主骨架中，京沪、京广、哈大、东南沿海、沪汉蓉、陇海郑宝段等线路已开通运营。另外通过建设京沈、商合杭、京张、南昌至赣州等客运专线，建成以京沪、京广、京哈、东南沿海、陇海、青太、沪昆、沪汉蓉为主骨架的“四纵四横”高速铁路网，同时配套建成贵广、合福等高铁延伸线，形成触角丰富、路网通达、运力强大的中国高速铁路网络。

## 1.2 我国高速铁路精密测量技术体系的形成

精密工程测量技术是决定高速铁路建设成败的核心技术之一，直接影响轨道几何平顺性与列车的运营安全。我国的高速铁路精密工程测量技术体系是伴随着我国铁路客运专线无砟轨道工程的建设而逐步建立和完善的。在高速铁路建设初期，我国缺乏针对高速铁路的系统性测量理论和实践技术经验，以至于高速铁路工程测量面临以下技术难题：

(1) 缺乏适用于高速铁路勘测、施工、运营维护的完整性测量技术体系和标准规范。

(2) 缺乏高速铁路工程控制网建网理论和数据处理技术,尤其是轨道控制网(CPⅢ)的建网和数据处理方法。

(3) 缺乏适用于轨道板精调和轨道平顺性检测的精密测量装备。

(4) 缺乏对线路几何稳定性长期监测与安全运营检测的技术方法。

为解决高速铁路建设面临的这些技术难题,我国各大院校、研究机构和铁路设计院等围绕“高速铁路精密工程测量成套技术”进行了长期的研究。在原铁道部的大力支持下,我国于2004年建立了遂渝线无砟轨道综合试验段精密工程测量控制网,开展无砟轨道铁路工程测量技术的研究。2006年,随着京津城际、武广、郑西客运专线无砟轨道铁路的全面开工建设,原有的铁路测量体系和技术标准已不能适应客运专线无砟轨道建设的要求。为适应客运专线无砟轨道建设的要求,我国根据铁建设函〔2005〕1026号《关于编制2006年铁路工程建设标准计划的通知》的要求,在原铁道部建设管理司和原铁道部经济规划院的主持下,完成了《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》的编制工作,并于2006年10月16日正式颁布实施,从而初步形成了我国高速铁路精密工程测量的技术标准体系。

2008年,根据原铁道部经济规划院《关于委托编制2008年铁路工程建设标准及标准设计的函》(经规计财函〔2008〕8号)的要求,铁路设计院和西南交通大学等单位在《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》的基础上,以积累的高速铁路工程测量科研成果为支撑,并认真总结了京津城际、武广、郑西、哈大、京沪、广深等高速铁路工程测量的实践经验,于2009年8月完成了《高速铁路工程测量规范》(TB 10601—2009)的编制工作,并于2009年12月

1 日正式颁布实施，从而形成了一套具有我国自主知识产权的高速铁路工程测量技术标准。

## 1.3 我国高速铁路精密工程测量技术体系的特点

随着我国高速铁路技术的不断发展，我国逐渐打破了国外高速铁路精密工程测量领域的技术垄断，形成了我国高速铁路精密工程测量的成套理论和技术体系，填补了国内高速铁路精密工程测量领域的技术空白，为我国的高速铁路建设提供了可靠的测量保证。

我国高速铁路精密测量技术体系主要具有以下特点：

### 1.3.1 “三网合一”的测量体系

高速铁路工程测量的平面、高程控制网根据施测阶段、施测目的及功能的不同可分为：勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网。我们把高速铁路工程测量的这三个阶段的测量控制网简称为“三网”。

勘测控制网包括：CP I 控制网、CP II 控制网、二等水准基点控制网。

施工控制网包括：CP I 控制网、CP II 控制网、水准基点控制网和 CP III 控制网。

运营维护控制网包括：CP II 控制网、水准基点控制网、CP III 控制网、加密维护基标。

为保证三阶段的测量控制网满足高速铁路勘测、施工、运营维护三个阶段的测量要求，在设计、施工和运营阶段构建和保持高速铁路轨道空间几何形位的一致性，满足高速铁路工程建设和运营管理的需要，三阶段的平面、高程控制网必须位于同一坐标系内。勘测控制网、施工控制网、运营维护控制网均采用 CP I 为基础平面控制网，以二等水准基点网为基础高程

控制网，简称为“三网合一”。

### 1.3.2 建立框架控制网 CP0

高速铁路建立框架控制网 CP0 是在总结京津城际铁路和郑西、武广、哈大、京沪、石武高速铁路平面控制测量实践经验基础上提出的。由于高速铁路线路长、地区跨越幅度大且平面控制网沿高速铁路呈带状布设，为了控制带状控制网的横向摆动，沿线必须每隔一定间距联测高等级的平面控制点，但是由于沿线路国家高级控制点之间的兼容性差，基础平面控制网 CP I 经国家点约束后使高精度的 CP I 控制网发生扭曲，大大降低了 CP I 控制点间的相对精度，个别地段经国家点约束后的 CP I 控制点间甚至不能满足《高速铁路工程测量规范》的要求。这导致在 CP I 测量数据处理时，不得不采用一点一方向的无约束平差方法，但这种平差方法给 CP I 控制网复测带来不便。为此，在京津城际铁路、哈大、京沪、石武高速铁路平面控制测量中首先采用 GPS 精密定位测量方法建立高精度的框架控制网 CP0，作为平面控制测量的起算基准。CP0 不仅能提高了 CP I 控制网的精度，也为平面控制网复测提供了可靠的基准。

### 1.3.3 高速铁路平面控制网的分级布设

高速铁路工程测量平面控制网应在框架控制网 (CP0) 的基础上分三级布设：第一级为基础平面控制网 (CP I)，主要为勘测、施工、运营维护提供坐标基准；第二级为线路平面控制网 (CP II)，主要为勘测和施工提供控制基准；第三级为轨道控制网 (CP III)，主要为轨道铺设和运营维护提供控制基准。

高速铁路工程测量平面控制网之所以要在 CP0 的基础上分三级布设，是因为测量控制网

的精度在满足线下工程施工控制测量要求的同时，还必须要满足轨道铺设的精度要求，使轨道与设计的目标值之差保持最小。轨道的铺设施工和线下工程（包括路基、桥梁、隧道、站台等）的施工放样，是通过各级测量控制网组成的测量系统来实现的。因此，为了保证轨道的空间位置（平面和高程）与线下工程相匹配、协调，必须按分级控制的原则建立测量控制网。

#### 1.3.4 高斯投影变形小于 1/100 000

高速铁路采用的平面坐标系统应采用边长投影变形值不大于 10 mm/km 的工程独立坐标系。高速铁路工程测量精度要求高，施工中要求由坐标反算的边长值与现场实测值应保持一致，即尺度统一。然而，由于地球表面是凹凸不平的曲面，地面上的测量数据需要投影到施工平面上，而曲面上的几何图形投影到平面上时，不可避免地会产生变形。采用国家 3°带投影的坐标系统，投影带边缘的边长投影变形值可达 340 mm/km，这无疑会给无砟轨道的施工带来非常大的困难。高斯投影变形对工程施工的影响是系统性的，因此投影变形越小对工程施工越有利。为此，我国高速铁路通常采用任意中央子午线和任意投影面大地高的高斯投影方法来建立工程独立坐标系。

#### 1.3.5 高速铁路高程控制网的分级布设

高速铁路工程测量高程控制网分二级布设：第一级线路水准基点控制网，为高速铁路工程勘测设计、施工提供高程基准；第二级轨道控制网（CPⅢ），为高速铁路轨道施工、维护提供高程基准。

#### 1.3.6 CPⅢ自由测站边角交会网

CPⅢ控制网是铺轨加密基标和轨道精调的基准。为保证铺轨加密基标和轨道精调测量的精度,《高速铁路工程测量规范》规定其点间距为 50 ~ 70 m,网形采用自由测站边角交会网,每个 CPⅢ控制点有不少于 3 个自由测站点的距离、方向交会。自由测站边角交会网与常规导线网测量具有以下优势:

- (1) 点位分布均匀,有利于铺轨加密基标和轨道精调作业的精度控制。
- (2) 控制网多余观测量多,网形强度高且均匀对称,具有较高的可靠性和精度。
- (3) 相邻点间相对精度高,有利于控制轨道的平顺性。
- (4) 控制点采用强制对中标志,自由测站也不含对中误差,消除了点位对中误差对控制网精度的影响。

## 1.4 我国高速铁路精密工程测量的内容和目的

### 1.4.1 高速铁路精密工程测量的内容

高速铁路建设离不开精密工程测量,高速铁路精密工程测量贯穿于高速铁路工程勘测、设计、施工、竣工验收和运营维护的全过程,主要包括以下内容:

- (1) 高速铁路平面和高程控制测量。
- (2) 线下工程施工测量。
- (3) 轨道施工测量。
- (4) 运营维护测量。

#### 1.4.2 高速铁路精密工程测量的目的

高速铁路精密工程测量的目的是通过建立各级平面和高程控制网，为高速铁路建设和运营维护提供测量保障，即在各级精密测量控制网的控制下，使线下工程能够按照设计线形准确施工，并保证铺设的轨道具有足够高的平顺性，以满足旅客列车的高速、安全、平稳运行要求。

高速铁路旅客列车行驶速度高（250~350 km/h），为了达到在高速行驶下，旅客列车的安全性和舒适性，高速铁路必须满足以下要求：① 线路严格按照设计的线形施工，即保持精确的几何线形参数；② 轨道必须具有非常高的平顺性，精度要保持在毫米级的范围以内。为了满足上述要求，应根据线下工程和轨道铺设的精度要求设计高速铁路的各级平面和高程控制网的测量精度。

### 1.5 我国高速铁路精密工程测量技术的发展趋势

目前，随着制造业、计算机、互联网等技术的发展，工程测量技术正快速向高精度、三维测量、大数据和多技术融合的方向发展。结合高速铁路技术的发展，我国高速铁路精密工程测量技术取得了很大的进步，目前，我国高速铁路精密工程测量技术的主要发展趋势如下：

#### 1.5.1 测量机器人的普及应用

在传统测量工作中，人为因素（主要指整平和观测）是测量误差的一个重要误差源，一些困难地理环境下甚至无法完成人工测量工作。随着高智能化、自动化测量机器人的出现和