

2024 年 第 24 号

# 国家铁路局关于发布铁道行业标准的公告

## (工程建设标准 2024 年第 10 批)

现公布《高速铁路工程测量规范》(TB 10601-2009)、《改建铁路工程测量规范》(TB 10105-2009) 等 2 项铁路工程建设标准的局部修订条文,自公布之日起实施。本局部修订的原条文同时废止。

国家铁路局

2024 年 9 月 19 日

(此件公开发布)

# 《高速铁路工程测量规范》TB 10601-2009 修订说明

《高速铁路工程测量规范》TB 10601-2009 发布实施以来，对指导我国高速铁路工程测量工作发挥了重要作用。随着铁路工程测量技术和全球卫星导航系统的不断发展，对卫星定位测量模式、平面控制网布设、变形监测方法、轨道精调测量等技术提出了更高的要求，规范中的相关内容急需完善。为进一步提升高速铁路工程测量水平，国家铁路局组织对《高速铁路工程测量规范》相关内容进行局部修订。

本次局部修订修改共计 58 条。修订的主要内容如下：

1. 修订了高速铁路平面坐标系统。
2. 优化了平面控制网设计的主要技术要求。
3. 调整了平面控制网外符合精度检查指标。
4. 补充了变形监测类别和方法。
5. 补充了轨道精调测量的技术要求。
6. 修订卫星定位测量各等级固定误差  $a$  与比例误差系数  $b$ ，增加了各等级控制网约束点方位角精度指标要求。
7. 调整了 CPI、CPII 复测限差。
8. 将 GPS 单卫星导航系统定位测量模式修改为 GNSS 多卫星导航系统定位测量模式。

本次局部修订由国家铁路局科技与法制司负责解释。在执行

过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见和有关资料寄交中铁二院工程集团有限责任公司（四川省成都市通锦路3号，邮政编码610031），并抄送中国铁路经济规划研究院集团有限公司（北京市海淀区北蜂窝路乙29号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。

本次局部修订主编单位为中国铁路经济规划研究院有限公司、中铁二院工程集团有限责任公司。

主要起草人：梅熙、赖鸿斌、刘锦成、黄一昕、王国祥、张月、李学仕、郑子天、胥海燕、代强玲。

主要审查人：赵海、付建斌、杨鹏健、刘宏江、郭胜、潘佩芬、何金学、金国清、马文静、张金龙、谯生有、杜志刚、刘军华。

# 《高速铁路工程测量规范》局部修订条文

## 一、修改第 1.0.3 条。

正文修改为：高速铁路工程测量平面坐标系统应采用基于 2000 国家大地坐标系（CGCS2000）基准的工程独立坐标系，线路设计高程面上的投影长度变形值不宜大于 10mm/km。桥梁和隧道施工控制网可采用施工独立坐标系。

条文说明修改为：关于高速铁路工程测量平面坐标系统说明

### （1）2000 国家大地坐标系

2000 中国大地坐标系(China Geodetic Coordinate System 2000, CGCS2000), 又称之为 2000 国家大地坐标系, 是中国新一代大地坐标系。建国以来, 中国于上世纪 50 年代和 80 年代分别建立了 1954 北京坐标系和 1980 西安坐标系, 测制了各种比例尺地形图, 在国民经济、社会发展和科学研究中发挥了重要作用。

随着社会的进步, 国民经济建设、国防建设、社会发展、科学研究等对国家大地坐标系提出了新的要求, 迫切需要采用原点位于地球质量中心的坐标系统(以下简称“地心坐标系”)作为国家大地坐标系。采用地心坐标系, 有利于采用现代空间技术对坐标系进行维护和快速更新, 测定高精度大地控制点三维坐标, 提高测图工作效率。

2008 年 3 月, 由国土资源部正式上报国务院《关于中国采用 2000 国家大地坐标系的请示》, 并于 2008 年 4 月获得国务院批准。自 2008 年 7 月 1 日起, 中国全面启用 2000 国家大地坐标

系，2000 国家大地坐标系与现行国家大地坐标系转换、衔接的过渡期为 8 年至 10 年。为此，本规范要求“高速铁路工程测量平面坐标系统应采用基于 2000 国家大地坐标系（CGCS2000）基准的工程独立坐标系”，以便于高速铁路工程独立坐标系与 2000 国家大地坐标系的相互转换。

2000 国家大地坐标系是全球地心坐标系在我国的具体体现，其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。Z 轴指向 BIH1984.0 定义的协议极地方向（BIH 为国际时间局），X 轴指向 BIH1984.0 定义的零子午面与协议赤道的交点，Y 轴按右手坐标系确定。2000 国家大地坐标系采用的地球椭球参数如下：

长半轴  $a=6378137\text{m}$ ；

扁率  $f=1/298.257222101$ ；

地心引力常数  $GM=3.986004418\times 10^{14}\text{m}^3/\text{s}^2$ ；

自转角速度  $\omega=7.292115\times 10^{-5}\text{rad/s}$ 。

（2）工程独立坐标系边长投影变形值不宜大于 10mm/km

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尽量一致，而国家的 3° 带投影坐标，在投影带边缘的边长投影变形值达到 340mm/km。因此本条规定采用工程独立坐标系，把边长投影变形值控制在一定范围内以满足高速铁路施工测量的要求。

在京津城际工程测量中，基础控制网平面相对精度限差为 1/100000。武广、郑西高速铁路无砟轨道 CPIII 控制网的测量实

践也表明，在满足边长投影长度变形值不大于 10mm/km 的条件下，CPIII 观测距离不需进行投影改化，进行平差计算就可满足 CPIII 控制网的精度要求；当投影变形值超过 10mm/km 时，如果 CPIII 观测距离不进行投影改化，就很难满足 CPIII 控制网的精度要求，所以需要在施工过程中进行高斯投影和高程投影改化，使坐标反算值与测量值的互差值不大于 10mm/km。因此，根据津京城际和武广、郑西等高铁建设经验，本条规定投影长度的变形值不宜大于 10mm/km。

## 二、修改第 3.1.1 条。

正文修改为：高速铁路工程平面控制网应按逐级控制的原则布设，各级平面控制网设计的主要技术要求应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 各级平面控制网设计的主要技术要求

控制网	测量方法	测量等级	点间距	相邻点相对点位中误差 (mm)	备注
CP0	GNSS	—	50km	20	—
CPI	GNSS	二等	≤2km 一个点或 ≤4km 一对点	10	点对间距不宜小于 800m
CPII	GNSS	三等	400m~800m	8	-
	导线	三等	400m~800m	8	附和导线网
CPIII	自由测站边角交会	—	50m~70m 一对点	1	—

注：隧道洞外 CPII采用导线测量时，CPI按 4km 一对点布设。

条文说明修改为：本条所规定的各级平面控制网布网要求是

在《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号)的基础上,结合京津、武广、郑西、哈大、京沪、石武、合宁、合武客运专线无砟轨道精密工程测量的实践而制定的。

(1) 有关 CP0 控制网的规定:

① 京津、哈大、京沪、石武客运专线平面控制网测量的实践表明:在建立 CPI之前建立高精度的 CP0 控制网作为高速铁路平面控制网的坐标框架起算基准,不仅可以克服国家高等级平面控制点稀少的问题,有效提高 CPI控制网的精度。而且使 CPI控制网复测时有一套稳固的、高精度的起算基准,使复测结果与原测结果有可比性,便于复测坐标与原测坐标的对比。

② CP0 控制网的点间距规定的依据见说明表 3.1.1。

说明表 3.1.1 京津、哈大、京沪、石武客运专线 CP0 控制网的点间距

线名	京津	哈大	京沪	石武
CP0 点间距 (km)	30	100	80	50

为了使 CPI控制网复测时便于坐标比较,本规范规定 CPI控制点复测成果与原测成果不大于 20mm,当 CPI控制网自身测量的各项精度指标均满足要求时,复测成果与原测成果的坐标较差就与约束点 CP0 控制网的点间距有关。据统计,在 CPI控制网复测自身测量满足 GNSS 二等网精度要求时,哈大线复测成果 92%满足 20mm 要求,京沪 98%满足 20mm 要求,京津、石武客运专线复测成果都满足 20mm 要求。根据以上各线的情况,综合考虑 CP0 控制网的选点、布网、野外测量调度协调等各方面因素,本

规范将 CP0 控制网控制网点间距定为 50km。

(2) 有关 CPI 控制网的规定：

① 本规范所规定的二等 GNSS 测量精度等级与《客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号)中 B 级网的精度等级是一致的，其最弱边边长相对中误差 1/170 000 提高到 1/180 000 主要是为了与《铁路工程卫星定位测量规范》TB10054-2010 的等级标准一致。

② CPI 布设方式由 4km 一对点改为 2km 一个点或 4km 一对点，主要从增加对 CPI 点位的保护性、满足控制网复测维护要求以及与线路水准基点共桩的需要考虑。当 CPI 布设为 4km 一对点时，如果出现连续 CPI 控制点被破坏，受测量误差的影响，控制网很难恢复。在沪昆高铁、成贵高铁、成渝客专等项目控制网复测中，由于出现连续 CPI 控制点被破坏，采用恢复后的 CPI 控制点约束 CPII，进而约束 CPIII 控制网，常常出现 CPIII 控制点成果与原成果坐标差值超过 2cm，给轨道精调工作带来困难。而 CPI 布设为 2km 一个点或 4km 一对点，将大大减小控制点破坏留下的空白地段，对控制网复测维护是有利的。同时，线路水准基点为 2km 一个点，CPI 控制点与之共桩的可能性增大，减小了埋桩工作量。

③ 当 CPII 采用导线测量时，CPI 按 4km 一对点布设，点对间距离不小于 800m。根据京津、武广、郑西、哈大、京沪、石武 CPI 控制网测量精度统计，边长为 800m 时，其边长相对中误差

也能达到 1/180 000。

(3) 有关 CPII 控制网的规定：

① 本规范所规定的三等 GNSS 测量精度等级与《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号)的 C 级网相同,点间距 400m~800m 主要是考虑现场的选点方便和施工阶段使用的方便。

② 导线测量精度定为三等,是根据 CPIII 自由测站边角交会网对上一级控制网的精度要求决定的,根据郑西、合武隧道洞内无砟轨道 CPIII 测量的情况,洞内导线精度低于三等时,约束平差后 CPIII 控制网会发生扭曲,出现个别 CPIII 相邻点之间相对精度超过 1mm 的现象。根据京津城际无砟轨道铺设的经验,其 CPII 导线是按三等导线的精度测量的。为了满足铺设 II 型板的要求,按照留有一定精度富余量的原则,本规范规定 CPII 导线按三等导线精度测量。

③ 导线测量的边长为 400m~800m 是为了使现场布设导线方便。

(4) 有关 CPIII 控制网的规定：

CPIII 控制网每间隔 50m~70m 布设一对,按自由测站边角交会法测量。自由测站边角交会法测量具有多余观测量多、图形强度高、点位精度均匀、便于轨道精调时使用轨检车检测等优点。

(5) 关于各级控制相邻点位的相对精度

① CP0 点间距为 50km,经过近年来的 CP0 测量实践,采

用长基线 GNSS 精密星历计算,其相邻点的相对点位中误差一般在 0mm~20mm 之间。

② CPI、CPII、CPIII的相对点位精度:

根据京津、武广、郑西等线 CPI、CPII测量精度统计,只要严格按照 CPI、CPII测量要求进行测量,CPI、CPII相对点位精度完全能满足 10mm 和 8mm 的规定;在此基础上建立轨道控制网 CPIII,CPIII相对点位精度能满足 1mm 的规定,同时能满足 CPIII自由设站测量和轨道施工控制的要求。

③ 根据各单位对精测网的实践及精度统计,将相邻点的相对中误差改为相邻点相对点位中误差,并删除平面  $x$ 、 $y$  坐标分量中误差相关内容。

**三、修改第 3.3.7 条。**

**正文修改为:** CPI控制网平差及坐标转换应符合下列规定:

1 无约束平差中基线向量各分量的改正数绝对值应满足式(3.2.9—1)的要求,其中  $\sigma$  按式(3.1.5)及表 3.1.5—1 中二等要求计算,并提供 ITRF 国际地球参考框架下各点的三维坐标、基线向量平差值及其改正数、基线坐标分量和精度信息。

2 用作 CPI 控制网约束平差的约束点间边长相对精度和方位角精度应满足本规范表 3.1.5-1 的规定。

3 CPI控制网约束平差宜采用三维约束平差,平差后最弱边相对中误差、基线边方向中误差应符合本规范表 3.1.2—1 的规定。

4 三维约束平差后，根据独立坐标系投影带的划分，将 CPI 控制网的空间直角坐标分别投影到相应的平面坐标投影带中，计算 CPI 控制点的工程独立坐标。

5 转换到国家或城市平面坐标系统时，应以联测的国家或城市平面控制点作为固定点进行 CPI 控制网的二维约束平差，计算 CPI 控制点的国家或城市平面坐标。

**条文说明修改为：CPI 控制网平差及坐标转换：**

1 通过 CPI 基线网三维无约束平差后，检查 CPI 控制网卫星测量的内符合精度是否满足要求，各项指标合格后，才能进行约束平差。CPI 控制网已从单一卫星定位测量模式转变为 GNSS 测量模式，因此提供的成果基于全球通用的 ITRF 国际地球参考框架。

3 CPI 测量精度包括内符合精度和外符合精度。约束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线改正数的较差限差，能够用于检查 CPI 测量外符合精度，即检查约束点的精度和兼容性。近些年通过大量高铁 CPI 测量的实践表明，CPI 约束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线改正数较差的绝对值不大于  $2\sigma$  的要求过于严格，容易造成人力、物力的浪费。另外，CPI 测量外符合精度，即检查约束点的精度和兼容性，一般通过检查约束点相互间的方位角精度和边长相对精度综合判断。因此，本次修订删除了 CPI 约束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线改正数较差的绝对值不大于  $2\sigma$  限差

要求，以使 CPI 测量更合理可行。

4 目前卫星定位测量三维空间坐标转换为二维平面坐标的一种方法是将 CPI 控制网中已知点的平面坐标作为约束值，对其直接进行二维约束平差得到 CPI 控制网的二维平面坐标。但是由于 CPI 控制网中的已知点间的边长存在投影差（高程改化和高斯投影），且高斯投影差在 CPI 控制网的各条边中是一个非线性的变量，如果直接进行二维约束平差计算 CPI 控制网的平面坐标，就会把 CPI 控制网的各条边中非线性的投影差按已知点间的边长投影系数对各条边进行线性约束，这是一种不严密的转换方法。另一种方法是利用已知点的三维坐标对 CPI 控制网进行三维约束平差，然后通过投影变换将 CPI 控制网三维空间坐标转换为二维平面坐标，这是一种严密的转换方法。由于 CP0 控制点有高精度的三维空间坐标，为 CPI 控制网的三维约束平差提供了条件。因此，CPI 控制网平差时，首先利用 CP0 控制点作为固定点进行 CPI 控制网的三维约束平差，计算 CPI 控制点的空间直角坐标，再通过分带投影的方法计算 CPI 控制点的平面直角坐标。这样可以克服利用 CP0 控制点的平面坐标作为固定点进行 CPI 控制网的二维约束平差带来的边长变形。

#### 四、新增第 8.1.12 条。

**新增正文为：**变形监测方法应根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等要求，按表 8.1.12 选择一种或多种方法。

表 8.1.12 变形监测方法选择

类别	监测方法
水平位移监测	三角形网测量法、导线测量法、极坐标法、交会法、自由设站测量法、卫星定位测量法、地面三维激光扫描测量法、地基雷达干涉测量法、正倒垂线法、视准线法、引张线法、激光准直法、精密测（量）距法、伸缩仪法、多点位移计法、倾斜仪法等
垂直位移监测	水准测量法、静力水准测量法、光电测距三角高程测量法、地基雷达干涉测量法、单点沉降计法等
三维位移监测	全站仪自动跟踪测量法、卫星定位测量法、三维激光扫描测量法、摄影测量法等
主体倾斜监测	经纬仪投点法、差异沉降法、激光准直法、垂线法、倾斜仪法、电垂直梁法等
裂缝监测	精密测（量）距法、伸缩仪法、裂缝计法、位移计法、三维激光扫描测量法、摄影测量法、光纤光栅传感器测量法等
扰度监测	垂线法、差异沉降测量法、位移计法、扰度计法等
应力、应变监测	应力计法、应变计法等

**新增条文说明为：**本条的监测类别和监测方法是在参考《工程测量标准》GB50026-2020 第 10.4 节的基础上制定的。具体应用时，需结合工程建设和运营管理需要，并根据监测项目的特点、精度要求、变形速率以及监测体的安全性等要求，综合选用变形监测方法，必要时采用卫星定位测量、全站仪自动跟踪测量、静力水准测量、光纤光栅传感器测量、伸缩仪法、裂缝计法、位移计法、扰度计法、应力计法、应变计法等方式开展自动化监测。

#### 五、修改第 9.6.5 条。

**正文修改为：**无砟轨道精调测量宜采用绝对测量与相对测量相结合方式，首次轨道测量应采用轨道几何状态测量仪进行逐枕绝对测量，后续测量可直接采用轨道检查仪进行相对测量。有砟轨道精调测量应采用轨道几何状态测量仪进行绝对测量，采样间

距宜为 1m~5m。

**条文说明修改为：**绝对测量是指以 CPIII 控制网为基准对轨道三维空间位置、轨距、水平、轨向、高低等轨道绝对指标进行直接测量的轨道测量方式；相对测量则指不依据任何精测网，仅直接测量轨距、水平指标，并计算轨向、高低、扭曲等相对指标，进而计算轨道不平顺质量指数（Track Quality Index，简称为 TQI）的轨道测量方式。绝对测量采用轨道几何状态测量仪，通常分为静态轨道几何状态测量仪和惯导轨道测量仪两种型号；相对测量则采用轨道检查仪。对于无砟轨道来说，绝对测量及精调能够消除长波，从而提高线路的长波平顺性；相对测量及精调能够消除短波，从而提高线路的短波平顺性。无砟轨道精调控制的各项精度指标一般由人工调整扣件实现。首次轨道绝对测量并精调后，已消除长波，后续轨道精调控制在较小范围内，仅需考虑相对测量及精调消除短波。近年来，随着惯导轨道测量仪等快速轨道绝对测量设备和轨道检查仪等轨道相对测量设备的成功研发和新技术应用，在沪昆、郑徐、鲁南等高速铁路无砟轨道精调过程中，采用绝对测量与相对测量相结合的方式进行了无砟轨道精调测量，有效降低了轨道质量综合指数 TQI，并极大提高了轨道测量效率，成为近年来无砟轨道精调测量的主要方式，为新建高速铁路开通运营前的联调联试发挥了重要作用。

对于有砟轨道来说，因轨道每次精调范围相对无砟轨道更大，需采用绝对测量方式。轨距精调由人工实现，其余指标由捣稳联

(捣固稳定联结作业)实现,即每次轨道测量完成时需向大机作业提供起道量和拨道量,从而实现轨道的高平顺性。通过安六、玉磨、成昆等有砟轨道精调工程实践,根据不同台套的捣稳联性能及轨道状态,采用 1m~5m 采样间距(通常为 1m、2m、2.5m 或 5m 等)进行有砟轨道捣稳联作业,既能保证有砟轨道精调质量,又能有效提高精调作业效率。

## 六、修改第 1.0.7 条。

**正文修改为:**在平面控制测量工作开展前,应首先采用 GNSS 测量方法建立高速铁路框架控制网(CP0)。

**条文说明修改为:**高速铁路建立框架控制网 CP0,是根据《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号),在平面控制网按三级布设的基础上,总结京津城际铁路、郑西、武广、哈大、京沪、石武高速铁路平面控制测量实践经验而制定的。《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》(铁建设〔2006〕189号)规定三级平面控制网分别为基础平面控制网 CPI、线路平面控制网 CPII和轨道控制网 CPIII。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。但是由于沿线国家高级控制点之间的精度较低,基础平面控制网 CPI经国家点约束后使高精度的 CPI控制网发生扭曲,大大降低了 CPI控制点间的相对精度,个别地段经国家点约束后的 CPI控制点间甚至不能满足 1/170000 的要求。在测量中不得不

采用一个点和一个方向的约束方式进行 CPI 控制网平差，但这种平差方式给 CPI 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首先采用 GNSS 精密定位测量方法建立高精度的框架控制网 CP0，作为高速铁路平面控制测量的起算基准，不仅提高了 CPI 控制网的精度，也为平面控制网复测提供了基准。因此本条规定：在平面控制测量工作开展前，应首先采用 GNSS 测量方法建立高速铁路框架控制网（CP0）。

### 七、修改第 2.1.3 条。

正文修改为：基础平面控制网（CPI） basic horizontal control net-work（CPI）

在框架控制网（CP0）的基础上，沿线路走向布设，按 GNSS 静态相对定位原理建立，为线路平面控制网（CPII）提供起闭的基准。

条文说明修改为：引入框架控制网（CP0）、基础平面控制网（CPI）、线路平面控制网（CPII）、轨道控制网（CPIII）概念，是为了便于阐述高速铁路线路平面控制测量按分级布网原则进行测量。

### 八、修改第 2.2 节。

正文修改为：符 号

$a$ ——固定误差

$b$ ——比例误差系数

$\sigma$ ——基线长度中误差

DS05、DS1、DS3——水准仪的型号

$C$ ——照准差  
 $D$ ——测距边边长  
 $m_D$ ——测距中误差  
 $m_\beta$ ——测角中误差  
 $m_\alpha$ ——方位角中误差  
 $W$ ——闭合差  
 $f_\beta$ ——附和导线或闭合导线角度闭合差  
 $V$ ——改正数  
 $n$ ——连续自然数的一个数值  
 $L$ ——导线或水准路线长度  
 $M_\Delta$ ——每千米水准测量的偶然中误差  
 $M_W$ ——每千米水准测量的全中误差  
 $N$ ——导线或水准附和线路或闭合环的个数  
 $R$ ——地球平均曲率半径  
 $R_C$ ——GNSS 基线计算的重复性定义  
 $S$ ——边长、斜距  
 $Hm$ ——平均高程  
 $M$ ——隧道贯通中误差或桥梁放样的容许误差  
 $m_S$ ——点位中误差  
 $m_x, m_y$ ——坐标中误差  
 $\Delta$ ——较差

## 九、修改第 3.1.2 条。

正文修改为：各级平面控制网的主要技术要求应符合下列规定：

1 CP0、CPI、CPII平面控制网 GNSS 测量的精度应符合表 3.1.2—1 的规定：

表 3.1.2—1 CP0、CPI、CPII平面控制网 GNSS 测量的精度

控制网	基线边方向中误差	最弱边相对中误差
CP0	—	1/2 000 000
CPI	≤1.3"	1/180 000
CPII	≤1.7"	1/100 000

2 CPII平面控制网导线测量的主要技术要求应符合表 3.1.2—2 的规定：

表 3.1.2—2 CPII平面控制网导线测量的主要技术要求

控制网	附和长度 (km)	边长 (m)	测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	相邻点的相对中误差 (mm)	导线全长相对闭合差限值	方位角闭合差限值 (")	导线等级
CPII	≤5	400~800	5	1.8	8	1/55 000	±3.6√n	三等

当同一测区内，导线环(段)数超过 20 个时，应按式(3.1.2)计算测角中误差：

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{f_{\beta}^2}{n} \right]} \quad (3.1.2)$$

式中  $f_{\beta}$ ——导线环(段)的角度闭合差；

$n$ ——导线环(段)的测角个数；

$N$ ——导线环(段)的个数。

3 CPIII平面控制网的主要技术要求应符合表 3.1.2—3 的规

定：

表 3.1.2—3 CPIII平面控制网的主要技术要求

控制网名称	测量方法	方向观测中误差	距离观测中误差	相邻点的相对中误差
CPIII平面网	自由测站边角交会	1.8"	1.0mm	1.0mm

条文说明修改为：本条规定的各级平面控制网的主要技术要求说明如下：

(1) 表 3.1.2-1

① CP0 最弱边相对中误差  $1/2000000$  是根据近年来 CP0 测量的实践总结得出的。铁二院近年来 CP0 测量精度统计见说明表 3.1.2。

说明表 3.1.2 CP0 测量精度统计

线路名	最弱边相对中误差
长沙至昆明线	$1/34\ 279\ 000$
成都至贵阳线	$1/36\ 889\ 000$
成都至九寨沟线	$1/29\ 157\ 000$
成都至重庆线	$1/32\ 203\ 000$
渝黔、渝万线	$1/12\ 875\ 000$
贵广线震后	$1/39\ 751\ 000$

从表中统计可以看出，采用精密星历解算的长基线精度完全能达到  $1/2\ 000\ 000$ 。

② CPI 最弱边相对中误差由原来的  $1/170\ 000$  提高到  $1/180\ 000$  主要是为了与《铁路工程卫星定位测量规范》TB10054-2010 中所规定的二等 GNSS 精度一致而修改，从近几年的 CPI 测量结果看 99% 的 CPI 最弱边相对中误差都在  $1/180\ 000$  以上。为了保证各铁路测量规范的系统性和一致性，本规范将 CPI 最弱边相

对中误差提高到 1/180 000。

(2) 表 3.1.2—2 CPII 导线的附合长度“≤5km”是基于 CPI 点间距“≤4km”制定的。其余各项精度指标均参照《工程测量规范》GB50026—2007 制定。

#### 十、修改第 3.1.3 条。

正文修改为：各级平面控制网的平差计算应符合以下规定：

1 CP0 控制网应以 2000 国家大地坐标系作为坐标基准，以 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 控制点作为约束点，进行控制网整体三维约束平差；

2 CPI 控制网应附合到 CP0 上，并采用固定数据平差；

3 CPII 控制网应附合到 CPI 上，并采用固定数据平差；

4 CPIII 控制网应附合到 CPI 或 CPII 上，并采用固定数据平差。

条文说明修改为：本条说明如下：

##### (1) 关于坐标系基准

2000 国家大地坐标系：是全球地心坐标系在我国的具体体现，其原点为包括海洋和大气的整个地球的质量中心。经国务院批准，根据《中华人民共和国测绘法》，我国自 2008 年 7 月 1 日起启用 2000 国家大地坐标系。为了保证 CP0 控制网的高精度 GNSS 测量不因坐标基准的模型造成精度损失，规定了 CP0 控制网以 2000 国家大地坐标系作为坐标基准。

##### (2) 关于采用固定数据平差

CPI、CPII、CPIII采用上一级控制点进行固定数据平差是平面控制网分级布网原则的要求。为了实现三网合一，要求勘测、施工、营运维护各阶段的平面控制基准统一，并且控制网间相互衔接，即：勘测阶段的基础平面控制网 CPI应拟合到 CPO 控制网上；作为线下工程施工控制的线路平面控制网 CPII应拟合到 CPI控制网上，保证施工的线路平面位置与设计的线路平面位置一致；作为轨道施工控制的轨道控制网 CPIII应拟合到 CPII控制网上，保证轨道工程施工的线路位置与线下工程施工的线路位置一致。

### 十一、修改第 3.1.5 条。

正文修改为：GNSS 控制测量应符合下列规定：

1 各等级 GNSS 测量控制网主要技术指标，应符合表 3.1.5—1 的规定。

表 3.1.5—1 各等级 GNSS 控制网主要技术要求

等级	固定误差 a (mm)	比例误差系数 b (mm/km)	基线方位角中误差 (")	约束点精度		约束平差后最弱边边长相对中误差
				方位角精度 (")	边长相对精度	
一等	≤5	≤1	1.0	0.6	1/500000	1/250000
二等	≤5	≤2	1.3	1.0	1/250000	1/180000
三等	≤5	≤3	1.7	1.3	1/180000	1/100000
四等	≤6	≤4	2.0	1.7	1/100000	1/70000
五等	≤10	≤5	3.0	2.0	1/70000	1/40000

注：当基线长度短于 500m 时，一、二、三等边长中误差应小于 5mm，四等边长中误差应小于 7.5mm，五等边长中误差应小于 10mm。

2 各等级控制网基线长度中误差应按式 (3.1.5) 计算。

$$\sigma = \pm \sqrt{a^2 + (b \cdot d)^2} \quad (3.1.5)$$

式中  $\sigma$ ——基线长度中误差 (mm)；

- a——固定误差 (mm);
- b——比例误差系数 (mm/km);
- d——基线或环的平均边长 (km)。

3 各等级 GNSS 测量作业的基本技术要求应符合表 3.1.5—2 的规定。

表 3.1.5—2 各等级 GNSS 测量作业基本技术要求

项 目 \ 等 级		一等	二等	三等	四等	五等
静态测量	卫星截止高度角 (°)	≥15	≥15	≥15	≥15	≥15
	同时观测有效卫星数	≥4	≥4	≥4	≥4	≥4
	有效时段长度 (min)	≥120	≥90	≥60	≥45	≥40
	观测时段数	≥2	≥2	≥1	≥1	≥1
	数据采样间隔 (s)	10~20	10~20	10~20	10~20	10~20
	接收机类型	双频	双频	双频	双频/单频	双频/单频
	PDOP 或 GDOP	≤6	≤6	≤8	≤10	≤10
快速静态测量	卫星截止高度角 (°)	—	—	—	≥15	≥15
	有效卫星总数	—	—	—	≥5	≥5
	观测时间 (min)	—	—	—	10~20	10~20
	平均重复设站数	—	—	—	≥1.5	≥1.5
	数据采样间隔 (s)	—	—	—	5~15	5~15
	PDOP (GDOP)	—	—	—	≤7 (8)	≤7 (8)

注：平均重复设站数≥1.5 是指至少有 50% 的点设站 2 次。

4 GNSS 测量除应符合以上规定外，其余各项要求应执行现行行业标准《铁路工程卫星定位测量规范》TB10054 的相关规定。

条文说明修改为：各等级 GNSS 测量控制网的主要技术指标说明如下：

本条所列的各等级 GNSS 测量控制网不包括 CP0 控制网的

技术指标，CPO 控制网是长基线精密控制网，需采用专用的精密星历软件进行处理，其外业观测的技术条件需进行专门设计，各项技术要求都在本规范第 3.2 节中专门规定。现就本条所规定的内容说明如下：

(1) 表 3.1.5—1 中 GNSS 控制网的精度分级是在充分考虑 GNSS 测量精度高、布网灵活性强以及相邻等级控制网的布网、测量方法和观测时间没有太大差异的前提下，根据铁路工程对测量精度的需要和铁路 GNSS 控制网带状布设，长、短边边长悬殊大等特点划分的。

#### ① 控制网的精度指标

控制网的精度指标是根据铁路工程对测量精度的要求确定的。

一等网主要用于铁路工程特大型桥梁和隧道的施工控制网测量；按照目前桥梁、隧道施工控制测量的要求，GNSS 网最弱边相对中误差不大于  $1/250000$  能满足桥梁、隧道独立控制网的精度。

二等网主要用于高速铁路基础平面控制网（CPI）测量、复杂特大桥施工控制网测量和长度 4km 以上隧道的施工控制网测量；经过京津城际铁路、郑西、武广客运专线无砟轨道的实践，证明最弱边相对中误差不大于  $1/170000$  能满足要求；而在桥梁施工平面控制网测量中要求 GNSS 测量的最高精度为桥轴线相对中误差为不大于  $1/175000$ ，故规定二等控制网最弱边相对中误

差为 $\leq 1/180000$ 。

三等网主要用于高速铁路线路控制网（CPII）测量、复杂特大桥施工控制网测量和长度 4km 以下隧道施工控制网测量；从目前高速铁路 CPII 测量实践来看，最弱边相对中误差不大于 1/100000 是合适的；

四等网主要用于高速铁路初测的平面控制测量。考虑到与三角形网测量精度要求统一，故规定最弱边相对中误差不大于 1/70000；

五等网主要用于初测调查测量，线路中线、地形、施工测量时的控制点加密，并考虑到与三角形网测量精度要求统一，故规定最弱边相对中误差不大于 1/40000。

## ② 关于固定误差 $a$ 与比例误差系数 $b$

综合《工程测量标准》GB 50026—2020 及铁路卫星定位测量实践经验，固定误差  $a$  与比例误差系数  $b$  需随等级变化而制定，而不能只考虑仪器的标称精度。因此，对固定误差  $a$  与比例误差系数  $b$  进行了修订。

## ③ 关于约束平差后基线方位角中误差和最弱边边长中误差的确定

GNSS 的测量原理与常规的导线、三角形网不同，GNSS 测量的一个特点是边长测量精度很高，但在边长较短时，由于受固定误差的影响，方位角精度就不如边长测量精度高。基线边长与角度之间的匹配关系也不像导线、三角形网测量的边角关系。对

一些客运专线 CPI、CPII GNSS 测量的基线方位角和边长精度的关系统计表明：当基线方位角中误差不大于 1.0"时，一般对应的基线相对中误差不大于 1/250000；当基线方位角中误差不大于 1.3"时，一般对应的基线相对中误差不大于 1/180000；当基线方位角中误差不大于 1.7"时，一般对应的基线相对中误差不大于 1/100000。

由于上述原因，本规范的 GNSS 测量等级划分与导线、三角形网测量等级划分没有严格意义上的对应关系。

#### ④ 关于约束点精度的规定

此规定主要用于首级控制网的约束点稳定性和兼容性检验，当采用最少约束条件（当约束点为 CGCS2000 大地坐标系、ITRF 坐标框架或 WGS-84 坐标系时固定一个点，其他坐标系时可固定一个点和一个已知方向）进行首级控制网平差后，一般通过检查方位角精度（约束点间计算方位角与已知方位角较差）和边长相对精度（约束点间计算边长与已知边长之差的相对精度）来综合判断。方位角精度和边长相对精度基本取上一等级的基线边方位角中误差和最弱边边长相对中误差，并经多条铁路的实践数据统计确定。

#### ⑤ 关于基线长度短于 500m 时边长中误差的规定

由于 GNSS 测量存在固定误差，对于短基线很难满足表 3.1.5—1 中基线方位角中误差及约束平差后最弱边边长相对中误差要求。因此对于短于 500m 的基线，按“一、二、三等边长中误

差应小于 5mm，四等边长中误差应小于 7.5mm，五等边长中误差应小于 10mm”要求执行，不需再满足表 3.1.5—1 中基线方位角中误差及约束平差后最弱边边长相对中误差要求。

(2)表 3.1.5—2 的规定参考《铁路工程卫星定位测量规范》TB10054—2010 制定。

#### 十二、修改第 3.2.1 条。

正文修改为：CP0 控制网应在初测前采用 GNSS 测量方法建立，全线应一次性布网，统一测量，整体平差。

#### 十三、修改第 3.2.2 条。

正文修改为：CP0 控制点应沿线路走向每 50km 左右布设一个点，在线路起点、终点或与其他线路衔接地段，应至少有 1 个 CP0 控制点。当 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点的精度和位置满足 CP0 控制网要求时，应将其作为高速铁路 CP0 控制点。

条文说明修改为：对于多条互通的铁路线路，需在线路互通连接处设立控制点。如原已建有 CP0 控制点，该点在确认为稳定的前提下能够作为已知点对新建 CP0 进行约束，使之形成一个统一的框架控制网，使两条铁路能够平顺衔接。当附近有国家 2000 大地坐标系控制点时，经检验满足精度要求的前提下，一般将国家 2000 大地控制点作为已知点，以利于与其他工程的对接。

#### 十四、修改第 3.2.3 条。

正文修改为：CP0 控制点标石选埋应符合下列规定：

1 控制点宜设在适合于 GNSS 观测作业的地点，周围 200m

范围内不得有强电磁干扰源或强电磁反射源，点位距线路中线不宜大于 10km。

2 控制点标石应设在基础稳定、不受施工和其他人为活动的干扰，且能长期保存的地点。标石规格和埋设标准应按本规范附录 A 的要求执行。

3 标石埋设完成后，应现场填写点位说明，丈量标石至明显地物的距离，绘制点位示意图，按本规范附录 D 的要求作好点之记。新埋标石应办理测量标志委托保管书，一式两份，标石保管单位或个人与测量单位各存一份。

#### 十五、修改第 3.2.4 条。

正文修改为：CP0 构网联测应符合下列规定：

1 CP0 控制网应与 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点进行联测。全线联测的已知站点数不应少于 2 个，且在网中均匀分布。

2 每个 CP0 控制点与相邻的 CP0 控制点连接数不应小于 3；IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点与其相邻的 CP0 控制点连接数不应小于 2。

条文说明修改为：本条说明如下：

1 CP0 控制网与 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点联测的目的是将 CP0 控制网坐标基准归化到 2000 国家大地坐标系中。

2 目的是保证实现 CP0 控制网的边联结，使每个点都有闭合环检核条件。

## 十六、修改第 3.2.5 条。

正文修改为：CP0 观测应符合下列规定：

1 使用的双频 GNSS 接收机标称精度不应低于  $5\text{mm}+1\times 10^{-6}\times d$ ，同步观测的 GNSS 接收机不应少于 4 台。

2 CP0 观测技术要求应符合表 3.2.5 的规定。

表 3.2.5 CP0 观测技术要求

卫星截止高度角	数据采样间隔	同时观测有效卫星数	有效卫星的最短连续观测时间	观测时段数	有效时段长度
15°	30s	≥4	≥15min	≥4	≥300min

3 观测时段分布宜昼夜均匀，夜间观测时段数不应少于 1 个。每个观测时段不宜跨越北京时间早 8 点（世界协调时 0 点）。

4 天线安置应整平对中，天线对中误差不应大于 1mm。天线高应在测前（开机之前）和测后（关机之后）各量取一次，每次应在相同的位置从天线三个不同方向（间隔 120°）量取，或用接收机天线专用量高器量取。单次天线高重复量取的读数互差不大于 ±2mm 时，取平均值作为单次天线高观测值；测前和测后天线高观测值读数互差不大于 ±3mm 时，取平均值作为天线高最终观测值。

5 同一时段的观测过程中不得关闭并重新启动仪器，不得改变仪器的参数设置，不得转动天线位置。

6 观测过程中若遇强雷雨、风暴天气时，应立刻停止当前观测时段的作业。

条文说明修改为：CP0 观测的技术要求是根据 CP0 测量精

度的要求和总结近年来多条铁路 CP0 测量的作业实践制定的。

夜间观测是指在日落后 1h 到日出前之间进行的观测。在我国南部低纬度地区进行 CP0 测量时，夜间时段一般在午夜到日出期间进行观测。上述时刻均以同步观测网点中最西部站点的时刻为准。

#### 十七、修改第 3.2.6 条。

正文修改为：CP0 数据处理应使用适合长基线的高精度 GNSS 数据处理专业软件。

条文说明修改为：CP0 基线较长，随着基线长度的增加，大气延迟和轨道误差的影响变得更加显著，需要更为精确的模型和算法来处理这些问题。因此，CP0 数据处理需使用适合长基线的高精度 GNSS 数据处理专业软件。

#### 十八、修改第 3.2.7 条。

正文修改为：CP0 基线向量解算应符合下列规定：

- 1 基线向量应采用精密星历进行基线解算。
- 2 同一时段观测值的数据剔除率不宜大于 10%。
- 3 基线解算应采用多基线解算模式，计算结果应包括基线向量的各坐标分量及其协方差阵等平差所需的元素。
- 4 基线向量解算引入的起算点坐标位置基准应为国际地球参考框架（ITRF）中的坐标成果，该坐标框架应与采用的精密星历坐标框架保持一致。起算点应选用联测的 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点。

条文说明修改为：本条说明如下：

1 精密星历指 IGS 公布的最终精密星历。

3 传统单基线解是一种不精密的解算方法，其忽略了不同基线之间的相关性，在基线解算的平差模型中采用了近似的随机模型。多基线解算采用的是严密平差模型，因而不会产生同步环坐标闭合差问题，其结果更为准确和可靠。基线结果应和方差—协方差阵一并输出，既方便后续的基线向量网平差，也是基线重复性较差检验和独立环坐标闭合差检验所必需的。

4 起算点坐标成果和采用的精密星历的坐标成果需要在同一坐标框架中进行。起算点的绝对坐标精度对基线的解算精度有影响，不能直接使用接收机单点定位的坐标成果作为 CP0 的起算坐标。

#### 十九、修改第 3.2.9 条。

正文修改为：CP0 网平差应符合下列规定：

1 无约束平差中基线向量各分量的改正数绝对值应满足式 (3.2.9—1) 要求：

$$\begin{aligned} V_{\Delta X} &\leq 3\sigma \\ V_{\Delta Y} &\leq 3\sigma \\ V_{\Delta Z} &\leq 3\sigma \end{aligned} \quad (3.2.9—1)$$

$\sigma$  按式 (3.1.5) 计算，其中  $a=5\text{mm}$ ， $b=0.2\text{mm/km}$ 。

2 约束平差前，应进行外部数据处理质量检核。联测站点的已知坐标成果与无约束平差成果间差值的绝对值应小于 0.2m，

且由此计算的基线长度相对误差应小于  $0.3 \times D \times 10^{-6}$ 。

3 整体约束平差所采用的约束点应为 IGS 参考站或国家 A、B 级 GNSS 点的 CGCS2000 大地坐标系成果。

4 整体约束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线改正数较差的绝对值应满足式(3.2.9—2)要求。

$$\begin{aligned}dV_{\Delta X} &\leq 2\sigma \\dV_{\Delta Y} &\leq 2\sigma \\dV_{\Delta Z} &\leq 2\sigma\end{aligned}\tag{3.2.9—2}$$

5 无约束平差应输出 ITRF 国际地球参考框架下各点的三维坐标、各基线向量平差值及其改正数、基线坐标分量和精度信息。

6 整体约束平差应输出 CGCS2000 大地坐标系中各点的地心坐标、大地坐标、各基线向量平差值及其改正数、基线坐标分量和精度信息。

**条文说明修改为：**约束平差前进行外部数据处理质量检查，其一是为了检查约束点的兼容性，其二是通过外部高精度已知点的相对关系来对 CP0 的绝对点位精度进行检核，有利于不同线路 CP0 控制点成果的通用与共享。

## 二十、修改第 3.3.5 条。

**正文修改为：**CPI 控制网应按本规范第 3.1.5 条中二等 GNSS 测量要求施测。

## 二十一、修改第 3.4.1 条。

正文修改为：CPII 控制网宜在定测阶段完成，采用 GNSS 测量或导线测量方法施测，主要技术指标应符合本规范第 3.1.2 条的要求。

## 二十二、修改第 3.4.4 条。

正文修改为：采用 GNSS 测量时应满足下列要求：

1 CPII 控制网应采用边联结方式构网，形成由三角形或大地四边形组成的带状网，并与 CPI 联测构成附合网。

2 CPII 控制网应按本规范第 3.1.5 条中三等 GNSS 测量要求施测。

3 CPII 基线解算应符合本规范第 3.3.6 条的规定。

4 无约束平差中基线向量各分量的改正数的绝对值应满足式(3.2.9—1)的要求，其中 $\sigma$ 按式(3.1.5)及表 3.1.5—1 中三等要求计算，用作 CPII 控制网约束平差的约束点间边长相对精度和方位角精度应符合本规范表 3.1.5—1 的规定。

5 CPII 控制网坐标转换应在 GNSS 基线网三维无约束平差的基础上，以联测的 CPI 控制点作为约束点进行平差，计算 CPII 控制点的工程独立坐标。平差后最弱边相对中误差、基线边方向中误差应符合本规范表 3.1.2—1 的规定。

条文说明修改为：为了保证平面测量基准的统一，实现“三网合一”，CPII 控制网需要附合到 CPI 控制网中，平差计算时以联测 CPI 控制点作为已知点进行约束平差。本次修订删除了 CPII 约

束平差中基线向量各分量改正数与无约束平差同一基线改正数较差的绝对值不大于  $2\sigma$  限差要求，以使 CPII 测量更合理可行。

### 二十三、修改第 3.6.3 条。

正文修改为：各级平面控制测量数据取位应符合表 3.6.3 的规定。

表 3.6.3 各级平面控制测量数据取位要求

控制网名称	GNSS 基线各坐标分量 (mm)	水平方向观测值 (")	水平距离观测值 (mm)	方向改正数 (")	距离改正数 (mm)	点位中误差 (mm)	点位坐标 (mm)
CPO CPI	0.1	—	—	—	—	0.1	0.1
CPII GNSS 网	0.1	—	—	—	—	0.1	0.1
CPII 导线网	—	0.1	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1
CPIII 平面网	—	0.1	0.1	0.01	0.01	0.01	0.1

### 二十四、修改第 5.2.1 条。

正文修改为：初测阶段未建立 CPI 平面控制网时，应沿线路建立初测平面控制网，初测平面控制网应以 CPO 为基准，每 8km 左右布设一对或每 4km 左右布设一个 GNSS 点作为初测首级控制点，按四等 GNSS 网技术要求施测。当测区在国家或地方连续运行基准站覆盖范围内时，基准站可作为初测首级控制点使用。

条文说明修改为：线路勘测时首先建立基础平面控制网 CPI，当初测阶段比较方案多，布设 CPI 控制网困难时，一般先沿线路每 8km 左右布设一对或每 4km 左右布设一个 GNSS 控制点作为

初测首级控制点。随着我国卫星导航定位基准站网技术的发展，各省都建立了国家或地方连续运行基准站，各勘察设计单位均广泛使用连续运行基准站开展初测工作，提高了生产效率。

#### **二十五、修改第 5.2.2 条。**

**正文修改为：**初测导线可根据专业勘测需要布设。初测导线应起闭于 CPI 平面控制网或初测平面控制网，并应符合下列规定：

1 初测导线应钉设木质方桩，必要时可用水泥固桩。

2 导线测量可采用 GNSS 或全站仪。采用 GNSS 测量时，按五等 GNSS 网技术要求施测；采用全站仪导线测量时，按二级导线测量要求施测，导线附合长度不应超过 10km。

#### **二十六、修改第 5.2.3 条。**

**正文修改为：**初测高程控制测量应按五等水准测量精度要求施测，可采用水准测量、光电测距三角高程测量和 GNSS 高程测量，并应符合下列规定：

1 采用水准测量、光电测距三角高程测量时，应符合本规范第 4 章的有关规定。

2 采用 GNSS 高程测量时，拟合网段已知点间距不宜大于 50km，每个网段联测的已知水准点不宜少于 4 个，且应采用多种拟合方法进行检核比较，并取已知高程点为检核点，检核点高程较差不应大于 10cm。

**条文说明修改为：**初测阶段比较方案多，不具备二等水准测量的条件，先按五等水准测量精度要求布设初测水准点，满足初

测高程测量需要。定测前，再沿线路进行二等水准测量，作为线路水准基点，以满足定测和施工需要。从而提高勘测效率，降低勘测成本。

#### **二十七、修改第 5.2.4 条。**

**正文修改为：**定测平面控制测量宜直接利用 CPI或 CPII平面控制网。当 CPI、CPII平面控制点密度和位置不能满足定测需要时，应在 CPI或 CPII基础上加密控制点，加密精度应满足本规范五等 GNSS 或一级导线要求。

#### **二十八、修改第 5.3.1 条。**

**正文修改为：**地形测量宜采用航空摄影测量方法，也可采用全站仪数字化测图、GNSS RTK 数字化测图、激光雷达扫描等方法测图。使用航测地形图时，在现场应对地形图内容进行核对、修正，必要时应进行现场补测。

**条文说明修改为：**目前，铁路长大干线的地形测量全部采用摄影测量成图方法，但对局部摄影范围以外的区域或支线、专用线的地形测量还有采用全站仪数字化测图、GNSS RTK 数字化测图、激光雷达扫描等方法测图。航测地形图受影像质量和植被覆盖的影响较大，使用时需在现场对地形和地物进行核对、修正。在植被茂密及影像差地区，经核对、修正还是不能满足要求时，需进行现场补测。

#### **二十九、修改第 5.3.8 条。**

**正文修改为：**图根点可用导线法、支导线法和 GNSS RTK 法

测设,起闭于初测导线点或 GNSS 点。图根点相对于邻近控制点,平面点位中误差不应大于图上 0.1mm,高程中误差不应大于 1/10 基本等高距。

### 三十、修改第 5.3.11 条。

正文修改为: GNSS RTK 数字化测图应符合下列规定:

1 求解转换参数的高等级控制点应均匀分布于测区周围,且数量不少于 4 个。

2 数据采集开始前,宜检测 1 个以上不低于图根点精度的已知点。平面较差不应大于图上 0.2mm,高程较差不应大于 1/5 基本等高距。

3 GNSS 控制器精度指标应根据测图比例尺的精度要求设置。当测点的精度满足 GNSS 控制器精度指标时,应存储测量点成果。

4 在测量记录各个点时,应输入测量点的属性(点号、代码),必要时现场绘制草图,标明点的连接关系。

### 三十一、修改第 5.3.12 条。

正文修改为: 地形测绘的主要内容应符合下列规定:

1 三角点、GNSS 点、导线点和水准点应测出其位置并注明编号及高程。

2 各类建筑物应分别测绘。对于距离线路较远,定线不可能穿过的密集建筑物,可绘出总外廓,只表示主要街区和通道。

3 省、县、乡等行政区划界线。

4 树林、竹林、灌木丛、独立树、行树、散树、苗圃、果园、经济林等林地以及菜地、稻田、旱地、荒地、经济作物地和水生经济作物地等农业用地及其地类界。

5 铁路、公路、便道、人行道路等。铁路、公路应注明名称及去向，公路应加注铺面材料。

6 各种电力线、通信线、管线、电缆及各种栅栏、地下管线、检修井等。

7 池塘、沟渠、河流（注明河名、流向及通航情况）、泉、井、水库、沼泽、桥梁、虹吸管、提灌设备等。

8 人工洞穴和坟地范围。

9 村镇名称、地名、道路名称、主要企事业单位及国家规定的文物保护单位、自然保护区。

10 其他各种地貌、地物，当不能按实际情况测绘时，均按规定图例描绘。

### **三十二、修改第 5.4.1 条。**

**正文修改为：**中线测量应在定测平面控制网和线路水准基点或四等高程控制网基础上进行。当控制点密度不能满足中线测量需要时，平面应按五等 GNSS 或一级导线加密，导线附合长度不应大于 5km；高程按五等水准测量精度要求加密。

### **三十三、修改第 5.4.2 条。**

**正文修改为：**中线测量应符合下列规定：

1 线路中线桩可采用全站仪极坐标法、GNSS RTK 法测设。

2 新建铁路应注明与既有铁路接轨站的里程关系。

3 中线上应钉设公里桩和加桩。直线上中桩间距不宜大于 50m；曲线上中桩间距不宜大于 20m，如地形平坦时中桩间距可为 40m。在地形变化处或设计需要时，应设加桩。

4 隧道顶宜根据专业调查的需要进行加桩。

5 新建双线铁路在左右线并行时，应以左线钉设桩概，并标注贯通里程。在绕行地段，两线应分别钉桩，并分别标注左右线里程。

6 中桩桩位检测限差应满足纵向  $S/2000 + 0.1$ （ $S$  为相邻中桩间距离，以米计）、横向  $\pm 10\text{cm}$  的要求。

7 中桩高程可采用光电测距三角高程测量、水准测量或 GNSS RTK 测量。中桩高程宜观测两次，两次测量成果的差值不应大于 0.1m。

#### 三十四、修改第 5.4.4 条。

正文修改为：GNSS RTK 中线测量应符合下列规定：

1 基准站宜设于已知平面、高程控制点上。流动站至基准站的距离不宜超过 5km。

2 求解基准转换参数时，公共点平面残差应控制在 1.5cm 以内，高程残差应控制在 3cm 以内。

3 放线作业前，应将流动站置于已知点上进行检核，平面坐标较差应小于 2cm，高程较差应小于 4cm，并存储记录检核结果。

4 重新设置基准站后，应对最后两个中桩进行复测并记录，

平面坐标互差应小于 2.5cm，高程互差应小于 5cm。

5 中桩放样坐标与设计坐标较差不应大于 5cm。

6 中线测量完成后，应输出下列成果：

- 1) 中桩点的平面坐标和高程；
- 2) 中桩点的平面高程精度；
- 3) 中桩点放样坐标较差。

**条文说明修改为：**GNSS RTK 技术是实时载波相位测量的简称，是以载波相位观测量为根据的实时差分 GNSS 测量。它的工作原理是在基准站上安置一台 GNSS 接收机，对所有可见 GNSS 卫星进行连续观测，并将其观测数据，通过无线电传输设备，实时地发送给用户观测站。在用户站上，GNSS 接收机在接收 GNSS 卫星信号的同时，通过无线电接收设备，接收基准站传输的观测数据，然后根据相对定位的原理，实时计算并显示用户站的三维坐标及其精度。

采用 GNSS RTK 进行放线时，放线误差不会积累，线路控制桩的误差也不会影响中线测量精度。为了验证线路控制桩的可靠性，一般用不同的流动站对线路控制桩进行测量。根据 GNSS 定位原理和中铁二院在郑西、武广等线定测中 GNSS RTK 测量的线路控制桩与 GNSS 静态测量结果统计，GNSS RTK 测量结果与 GNSS 静态测量结果具有一致性，而 GNSS 静态测量作业效率远远低于 GNSS RTK 测量的作业效率。因此，没有必要用 GNSS 静态测量对 GNSS RTK 测量的线路控制桩进行贯通测量。

### 三十五、修改第 5.5.3 条。

正文修改为：路基加固工程施工放样应符合下列规定：

1 路基加固范围施工放样可在恢复中线的基础上采用横断面法、极坐标法或 GNSS RTK 法施测。

2 路基加固工程中各类基础的桩位，应根据设计要求在已测设的地基加固范围内采用横断面法测设，相邻桩位距离限差不应大于 5cm。

### 三十六、修改第 5.7.8 条。

正文修改为：CPI、CPII 控制点、线路水准基点施工复测的精度和要求应符合本规范第 3.1 节、第 3.3 节、第 3.4 节及第 4.5 节的规定。复测成果与原测成果的较差应满足下列规定：

1 采用 GNSS 复测 CPI、CPII 控制点时，复测与原测成果较差限差应符合表 5.7.8—1、表 5.7.8—2 的规定。

表 5.7.8—1 CPI、CPII 控制点复测坐标较差限差要求

控制点类型	复测坐标较差限差 (mm)
CPI	20
CPII	15

注：表中坐标较差限差指 X、Y 坐标分量较差。

表 5.7.8—2 GNSS 复测相邻点间坐标差之差的相对精度限差

控制网等级	相邻点边长 S (m)	S≥800	500<S<800	S≤500
	一等		1/160000	1/120000
二等		1/130000	1/100000	1/80000
三等		1/80000	1/60000	1/50000
四等		1/50000	1/40000	1/30000

注：表中相邻点间坐标差之差的相对精度按式 (5.7.8) 计算：

$$\frac{d_s}{s} = \frac{\sqrt{\Delta X_{ij}^2 + \Delta Y_{ij}^2 + \Delta Z_{ij}^2}}{s} \quad (5.7.8)$$

式中： $\Delta X_{ij} = (X_j - X_i)_{复} - (X_j - X_i)_{原}$

$\Delta Y_{ij} = (Y_j - Y_i)_{复} - (Y_j - Y_i)_{原}$

$\Delta Z_{ij} = (Z_j - Z_i)_{复} - (Z_j - Z_i)_{原}$

$S$ —相邻点间的二维平面距离或三维空间距离；

$\Delta X_{ij}$ ,  $\Delta Y_{ij}$ —相邻点  $i$  与  $j$  间二维坐标差之差 (m)；

$\Delta Z_{ij}$ —相邻点  $i$  与  $j$  间  $Z$  方向坐标差之差，当只统计二维坐标差之差的相对精度时该值为零 (m)。

2 采用导线复测 C<sub>PII</sub> 控制点时，水平角、边长和坐标较差的限差应符合表 5.7.8—3 的规定。

表 5.7.8—3 导线复测较差的限差

控制网	等级	水平角较差限差 (")	边长较差限差 (mm)	坐标较差限差 (mm)
C <sub>PII</sub>	三等	3.6	2m <sub>D</sub>	15
C <sub>PII</sub>	隧道二等	2.6	2m <sub>D</sub>	15

注：1 m<sub>D</sub> 为仪器标称精度。

2 当隧道洞内 C<sub>PII</sub> 控制测量的导线附和长度大于 7km 时，导线等级为隧道二等。

3 水准点间的复测高差与原测高差之较差应符合本规范表 4.2.1 的规定。

条文说明修改为：GNSS 控制点复测采用相邻点间约束平差后三维或二维坐标差之差的相对精度来分析判断控制点的成果是否存在变化的方法，是根据工程实践经验制定的，考虑了相邻点间边长和方位的变化。边长为 800m 及以上相邻点间坐标差之差的相对精度限差取约束平差后最弱边边长相对中误差的 $\sqrt{2}$ 倍，

在此基础上根据工程实践经验制定了边长为 500m~800m 和 500m 以下相邻点间坐标差之差的相对精度限差。导线复测采用导线边连接角和边长较差作为复测精度指标,按同精度复测考虑,并根据工程实践经验,导线复测连接角和边长较差限差为中误差的 2 倍。

根据京沪复测实践经验和复测精度统计,在 CPI、CPII 控制网自身内符合精度满足规范要求的情况下,CPI、CPII 控制网复测结果与原测结果较差分布分别统计于说明表 5.7.8—1、5.7.8—2。

说明表 5.7.8—1 京沪高速铁路精测网 CPI 复测较差统计

DX		DY	
差值/mm	比例	差值/mm	比例
5	42.7%	5	63.2%
10	26.0%	10	23.4%
15	20.4%	15	10.4%
20	7.7%	20	2.5%
>20	3.2%	>20	0.7%
≤20	96.8%	≤20	99.3%

说明表 5.7.8—2 京沪高速铁路精测网 CPII 复测较差统计

DX		DY	
差值/mm	比例	差值/mm	比例
5	71.21%	5	69.61%
10	23.17%	10	23.97%
15	4.51%	15	4.71%
>15	1.10%	>15	0.70%
≤15	98.90%	≤15	99.30%

根据上述统计,将 CPI、CPII 复测限差要求分别定为 20mm 、

15mm。

### 三十七、修改第 5.7.10 条。

正文修改为：复测完成后应进行成果分析，编写复测报告。

复测报告应包括以下内容：

1 任务依据、技术标准。

2 测量日期、作业方法、人员、设备情况。

3 复测控制点的现状及数量，复测外业作业过程及内业数据处理方法。

4 复测控制网测量精度统计分析应包括下列内容：

1) 独立环闭合差及重复基线较差统计；

2) GNSS 自由网平差和约束平差后最弱边方位角中误差和边长相对中误差统计；

3) 导线方位角闭合差、全长相对闭合差，测角中误差统计；

4) 水准测量测段间往返测较差、附和水准路线高差闭合差、水准路线每千米水准测量偶然中误差统计。

5 复测与原测成果的对比分析应包括下列内容：

1) 平面控制网复测与原测坐标成果较差；

2) GNSS 网复测与原测相邻点间坐标差之差的相对精度的比较；

3) 导线复测与原测水平角、边长较差。

4) 相邻水准点复测与原测高差较差。

6 需说明的问题及复测结论。

### 三十八、修改第 5.8.2 条。

正文修改为：施工控制网加密测量可采用导线或 GNSS 测量方法施测，施工控制网加密应就近附合到 CPII 或 CPI 控制点，采用固定数据约束平差。

### 三十九、修改第 5.8.5 条。

正文修改为：采用 GNSS 测量方法加密时，应按本规范第 3.1.5 条四等 GNSS 精度要求施测，GNSS 基线边不宜短于 300m。

### 四十、修改第 6.1.1 条。

正文修改为：隧道平面控制测量应结合隧道长度、平面形状、辅助坑道位置及线路通过地区的地形和环境条件等，采用 GNSS 测量、导线测量、三角形网测量及其综合测量方法。高程控制测量可采用水准测量、光电测距三角高程测量。

条文说明修改为：高速铁路工程建立了基础控制网 CPI、线路控制网 CPII 和线路水准基点控制网，在隧道洞口附近布设有平面、高程控制点，但其点位密度还无法满足隧道施工控制测量。因此，隧道施工时需要进行施工控制测量。

隧道洞外平面控制测量优先采用 GNSS 方法测量。当隧道洞口位于峡谷、深沟等困难地段时，洞口控制点往往无法满足 GNSS 观测条件要求，一般采用如下处理方式建立洞口控制网：

(1) 只布设一条对空通视良好、精度高的 GNSS 定向联系边，用于向洞内传算洞外测量成果。但为满足施工测量需要，洞口不能少于 3 个平面控制点。在这种情况下，可以增设两个导线

点，与卫星定位点定向联系边一起构成洞外施工控制网，卫星定位点与常规测量共同构网的方式则为条文中的综合测量方法。

(2) 在定向点附近再布设一个控制点（超短边），保证洞口不少于 3 个平面控制点，其环闭合差、方位、边长相对精度不作为控制网最弱边的评价指标，仅为满足施工进洞检查需要，该点单独编号，其名称与其余正常控制点相区别。

(3) 将洞口 3 个平面控制点移设到附近空旷的适用于布设卫星定位点处，以导线网或三角形网方式传递控制点进洞。在施工进洞时，洞门附近加密 1 个卫星定位点，纳入导线进行结点平差，保障进洞导线的精度。

#### **四十一、修改第 6.2.3 条。**

**正文修改为：**重点隧道测量应满足下列要求：

1 洞口附近线路纵断面应以中线测量的精度测设。

2 洞口横断面应根据专业设计需要测绘，洞口横断面应面向洞门施测，测量精度应符合本规范第 5.5.2 条第 3 款横断面测量的规定。

3 洞口 1:500 地形图以及相关改建工程（沟渠、道路）和其他工程（弃渣、排污处理）等的地形图，可采用摄影测量、全站仪数字化测图及 GNSS RTK 测图、激光雷达扫描等方法测绘。测绘内容、测量精度应符合本规范第 5.3 节的规定。

#### **四十二、修改第 6.4.2 条。**

**正文修改为：**隧道洞外控制测量的设计要素应符合表

6.4.2—1 和表 6.4.2—2 的规定。

表 6.4.2—1 平面控制测量设计要素

测量部位	测量方法	测量等级	适用长度 (km)	洞口联系边方向中误差 (")	测角中误差 (")	边长相对中误差
洞外	GNSS 测量	一等	8~20	1.0	-	1/250000
		二等	4~8	1.3	—	1/180000
		三等	<4	1.7	—	1/100000
	导线 测量	二等	8~20	—	1.0	1/200000
			4~8	—		1/100000
		三等	2~4	—	1.8	1/80000
		四等	<2	—	2.5	1/50000
	三角形网 测量	二等	8~20	—	1.0	1/200000
			4~8	—		1/150000
		三等	2~4	—	1.8	1/100000
		四等	<2	—	2.5	1/50000
	洞内	导线 测量	二等	8~20	—	1.0
隧道二等			5~8	—	1.3	1/100000
三等			2~5	—	1.8	1/50000
四等			1.5~2	—	2.5	1/50000
一级			<1.5	—	4.0	1/20000

表 6.4.2—2 高程控制测量技术要求

测量部位	测量等级	两开挖洞口间高程路线长度 (km)	每千米高程测量偶然中误差 (mm)
洞外	二等	>36	≤1.0
	三等	13~36	≤3.0
	四等	5~13	≤5.0
	五等	<5	≤7.5

测量部位	测量等级	两开挖洞口间高程 路线长度 (km)	每千米高程测量偶然 中误差 (mm)
洞内	二等	>32	≤1.0
	三等	11~32	≤3.0
	四等	5~11	≤5.0
	五等	<5	≤7.5

条文说明修改为：表 6.4.2—1 说明如下：

隧道洞外平面控制网，进洞联系边的边长相对精度不影响贯通误差，重点关注洞口定向边的方位精度。GNSS 测量系统是自带方位基准的系统，测量的 GNSS 方位精度除与观测条件、基线解算有关外，施测时仪器对中误差也是重要影响因素。一般要求对中误差小于 1mm，等级越高，距离越短，对中精度要求越严。根据 27 个项目 593 条 GNSS 基线边独立重复观测资料统计方位较差，150m~800m 长度 GNSS 方位精度估算大致可用公式： $0.3''+2.5''/S_{100}$  ( $S_{100}$  为定向边长度，以百米为单位，如 400m 边长的方位精度估算为 0.9'')。实践表明，隧道洞口网只要保证对空观测条件良好、基线边长度 400m 以上、对中误差小于 1mm，GNSS 方位精度是可以达到 1.0'' 的。

各等级 GNSS 定向边精度、边长相对中误差与规范通用等级保持一致；但考虑到隧道洞口定向边长度限制，地形限制可能较短，为方便全站仪观测又不能太长，一般在 300m~600m 为宜，一等 GNSS 网定向边精度为 1.0''，500m 以下的基线边边长中误差小于 5mm。

隧道洞口联系边的方位中误差必须满足表 6.4.2—1 中相应

等级的要求,无法满足要求时需要采用强制对中方式保证方位精度。或将控制点移设到附近空旷地段布设,以三角形网或导线网方式联测进洞。

考虑到 GNSS 测量已经普及,铁路隧道已经在隧道进出口采用 GNSS 技术建立 CPI、CPII控制网,隧道控制测量不再采用越岭导线方式建立。导线测量多数应用于困难地形的洞口加密控制网,极少数特殊情况下的短隧道(长度小于 4km 的隧道)采用导线控制。

勘测阶段建立 CPI、CPII控制网一般采用 GNSS 方式, CPI 按 4km 左右布设一对点或 2km 一个点, CPII按 400m~800m 左右设置一点。对 4km~6km 的隧道,一般在隧道口布设有 CPI点对或 CPI+CPII单点,能够保证进、出洞口各有 2 个控制点;对于 1.5km~4km 的隧道,隧道进、出口能够保证各有 2 个 CPII控制点,可以在此 CPI、CPII控制网基础上进行增补加密;当隧道设有斜井时,一般采用 GNSS 直接加密,基本不采用越岭导线方式建立施工控制网。为保持规范的完整性,本次修订仍然列出洞外采用越岭导线、三角形网方式建立施工控制网的要求。对于短隧道的洞内控制测量,由于要求的测量精度不高,设置了测角精度为 $\pm 4''$ 的一级导线。

洞内导线控制测量中测角中误差为 1.3''的测量精度等级,条文中称其为“隧道二等”,用于洞内导线测量(包括施工期间洞内控制测量和贯通后的隧道 CPII导线控制测量)。长度为 5km~

8km 的隧道, 根据贯通误差估算的洞内导线测角精度一般介于二等与三等之间, 而国家没有这一精度指标。基于既保证贯通精度需要又经济合理的原则, 增加了这一精度等级。

表 6.4.2-2 说明如下:

表 6.4.2-2 高程控制测量适用的水准路线长度中, 每千米水准测量高差的偶然中误差  $M_{\Delta}$ 、水准仪等级、水准标尺类型, 均引自《国家一、二等水准测量规范》GB/T 12897-2006、《国家三、四等水准测量规范》GB/T 12898-2009 的相应规定。

两开挖洞口间的水准路线长度  $L$ , 按式 (说明 6.4.2) 计算得到:

$$L = \sqrt{\frac{m_{\Delta h}}{M_{\Delta}}} \quad (\text{说明 } 6.4.2)$$

式中  $M_{\Delta}$ —每千米水准测量高差中数的偶然中误差 (mm);

$m_{\Delta h}$ —受洞外或洞内高程控制测量误差影响, 产生在贯通面上的高程中误差。

当洞外或洞内高程控制测量误差产生在贯通面上的高程中误差满足高程贯通精度要求时, 一般按式 (说明 6.4.2) 计算各等级水准测量适用的水准路线长度。

当洞外高程控制测量允许的贯通精度为  $\pm 18\text{mm}$ , 各等级水准测量 ( $M_{\Delta} = \pm 5\text{mm}$ ) 精度适合的隧道洞外高程控制网线路长度分别为:

$$\text{二等: } L = \frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2} = \frac{18^2}{1^2} = 324\text{km}$$

$$\text{三等: } L = \frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2} = \frac{18^2}{3^2} = 36\text{km}$$

$$\text{四等: } L = \frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2} = \frac{18^2}{5^2} = 12.96\text{km}$$

$$\text{五等: } L = \frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2} = \frac{18^2}{7.5^2} = 5.7\text{km}$$

由上述分析可知，五等水准测量精度只适用于水准路线长度在 5km 以下的隧道的洞外控制测量，四等水准测量适用的水准路线长度为 5km~13km，三等水准测量适用的水准路线长度为 13km~36km，二等水准测量适用的水准路线长度为 36km~324km。

当采用三角高程测量时，类比上述方法估算其适用隧道的长度，测量时还应注意全站仪与反射器及其支架的配合，严格控制边长，以减小测距误差对高程的影响。

#### 四十三、修改第 6.4.3 条。

正文修改为：GNSS 控制测量误差引起的隧道横向贯通中误差可按下列方法估算：

1 控制测量前，应按式（6.4.3—1）估算测量设计的验前横向贯通中误差。

$$M^2 = m_J^2 + m_C^2 + \left(\frac{L_J \sin \theta \times m_{\alpha J}}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{L_C \sin \phi \times m_{\alpha C}}{\rho}\right)^2 \quad (6.4.3—1)$$

式中  $m_J$ 、 $m_C$ ——进、出口 GNSS 控制点坐标误差在贯通面上的投影长度；

$L_J$ 、 $L_C$ ——进、出口 GNSS 控制点至贯通点的长度；

$m_{\alpha J}$ 、 $m_{\alpha C}$ ——进、出口 GNSS 联系边的方位角中误差；

$\theta$ 、 $\phi$ ——进、出口控制点至贯通点连线与贯通点线路法线的夹角。

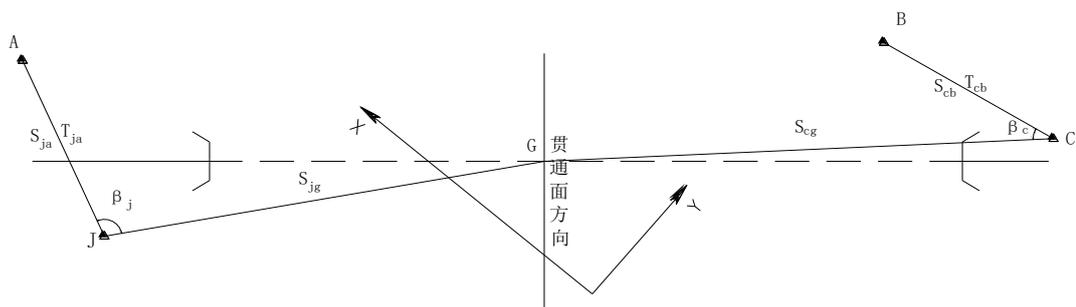
2 控制测量后，应按式（6.4.3—2）估算控制测量的验后横向贯通中误差。验后横向贯通误差应符合本规范表 6.1.4 的规定。

$$M^2 = \sigma_{\Delta x}^2 \cos^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta y}^2 \sin^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta x \Delta y} \sin 2\alpha_F \quad (6.4.6-2)$$

式中  $\sigma_{\Delta x}$ 、 $\sigma_{\Delta y}$ 、 $\sigma_{\Delta x \Delta y}$ —由进、出口推算至贯通点的 x、y 坐标差的方差和协方差；

$\alpha_F$ —贯通面方位角。

**条文说明修改为：** 无论隧道控制测量采用何种方法，隧道洞外控制测量的成果一般为隧道进口、出口附近控制点的坐标。这些点的坐标精度及其相对精度在一定程度上集中体现了测量方法的影响和控制网的成果质量。假设在任意两相向洞口有 J、C、A、B 四个控制点，它们分别表示洞口控制点和进出口附近的定向点，G 为隧道贯通点，如说明图 6.4.4-1 所示：



说明图 6.4.4-1 隧道贯通误差估算示意图

从说明图 6.4.4-1 中可以看出，贯通点 G 点的横向贯通误差

是由 J、C、A、B 四个控制点的误差引起的。测量前，一般按条文第 1 款近似方法估算，测量后按条文第 2 款严密公式估算。

在不考虑洞口投点误差及洞内导线测量误差时，由平差理论，按求未知数的函数权倒数方法，可以得到贯通点分别由进出口计算的纵横坐标差关系式为：

$$\begin{aligned}\Delta X_G &= X_j + S_{jg} \cos(T_{ja} + \beta_j) - X_c - S_{cg} \cos(T_{cb} - \beta_c) \\ \Delta Y_G &= Y_j + S_{jg} \sin(T_{ja} + \beta_j) - Y_c - S_{cg} \sin(T_{cb} - \beta_c)\end{aligned}$$

(说明 6.4.4—1)

在不考虑  $S_{jg}$ 、 $S_{cg}$ 、 $\beta_j$ 、 $\beta_c$  的误差时，对式 (说明 6.4.4—1) 微分并整理得到关于  $\Delta X_G$ 、 $\Delta Y_G$  的权函数式为：

$$\begin{aligned}d(\Delta X_G) &= (1 - a_{ja}\Delta Y_{jg})dX_j - b_{ja}\Delta Y_{jg}dY_j + a_{ja}\Delta Y_{jg}dX_a + b_{ja}\Delta Y_{jg}dY_a \\ &\quad - (1 - a_{cb}\Delta Y_{cb})dX_c + b_{bc}\Delta Y_{cg}dY_c - a_{cb}\Delta Y_{cg}dX_b - b_{cb}\Delta Y_{cg}dY_b \\ d(\Delta Y_G) &= (1 + b_{ja}\Delta X_{jg})dY_j - a_{ja}\Delta X_{jg}dX_j + a_{ja}\Delta X_{jg}dX_a + b_{ja}\Delta X_{jg}dX_a \\ &\quad - (1 + b_{cb}\Delta X_{cg})dY_c + a_{bc}\Delta X_{cg}dX_b - a_{cb}\Delta X_{cg}dX_c - b_{cb}\Delta X_{cg}dY_b\end{aligned}$$

(说明 6.4.4—2)

式 (说明 6.4.4—2) 写成矩阵形式，再按协因素传播律得：

$$\begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x_G} & \sigma_{\Delta x_G \Delta y_G} \\ \sigma_{\Delta y_G \Delta x_G} & \sigma_{\Delta y_G} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 f Q_z f^T = f D_z f^T \quad (\text{说明 6.4.4—3})$$

$$f = \begin{bmatrix} 1 - a_{ja}\Delta Y_{jg} & b_{ja}\Delta Y_{jg} & a_{cb}\Delta Y_{cg} - 1 & -b_{cb}\Delta Y_{cg} & a_{ja}\Delta Y_{jg} & -b_{ja}\Delta Y_{jg} & -a_{cb}\Delta Y_{cg} & b_{cb}\Delta Y_{cg} \\ a_{ja}\Delta X_{jg} & 1 - b_{ja}\Delta X_{jg} & -a_{cb}\Delta X_{cg} & b_{cb}\Delta X_{cg} - 1 & -a_{ja}\Delta X_{jg} & b_{ja}\Delta X_{jg} & a_{cb}\Delta X_{cg} & -b_{cb}\Delta X_{cg} \end{bmatrix}$$

(说明 6.4.4—4)

$$Z = [dX_J \quad dY_J \quad dX_C \quad dY_C \quad dX_A \quad dY_A \quad dX_B \quad dY_B]^T$$

(说明 6.4.4—5)

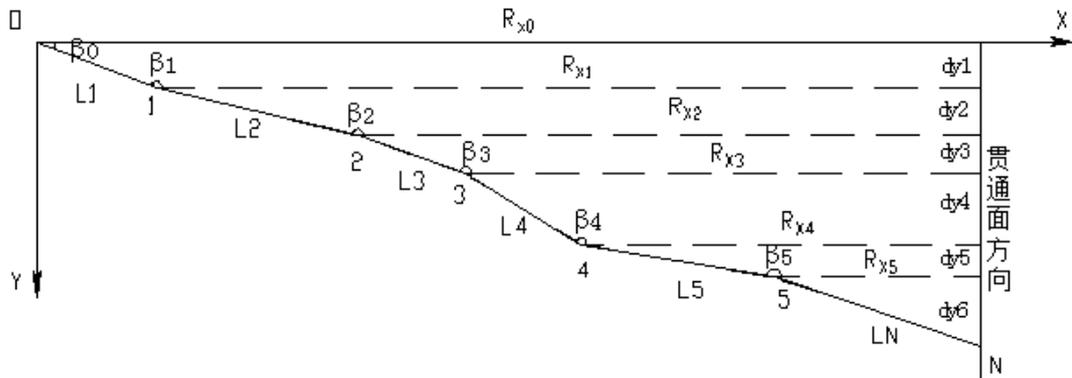
Z 的协因数阵  $Q_Z$  由地面控制网估算所得的未知数的协因数阵中取得。由上式可以绘出贯通误差的误差椭圆。

对于直线隧道，当隧道轴线为 X 轴时，则  $\sigma\Delta x_G$  为纵向贯通误差的影响值， $\sigma\Delta y_G$  为横向贯通误差的影响值。

对于曲线隧道，可以根据线路关系计算出贯通点在控制网坐标系中的坐标  $(X_G, Y_G)$  以及该点的切线方位角（贯通点的纵向方位角） $\alpha_G$  和横向方位角  $\alpha_F = \alpha_G + 90^\circ$ ，因此，隧道横向贯通误差为：

$$M^2 = \sigma_{\Delta x}^2 \cos^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta y}^2 \sin^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta x \Delta y} \sin 2\alpha_F \quad (\text{说明 } 6.4.4-6)$$

导线测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差计算方法如说明图 6.4.4—2 所示：



说明图 6.4.4-2 导线测量在贯通面引起的贯通误差计算示意图

假设导线由洞口投点 O 开始引测至贯通面，则贯通面上 N 点的横坐标为：

$$y_N = \sum l_i \sin A_i = \sum \Delta y_i \quad (\text{说明 } 6.4.4-7)$$

微分并整理式（说明 6.4.4—7）得到：

$$dy_N = dy_1 \frac{dl_1}{l_1} + dy_2 \frac{dl_2}{l_2} + \dots + dy_n \frac{dl_n}{l_n} + (R_{x0}d\beta_0 + R_{x1}d\beta_1 + \dots + R_{xn}d\beta_n)$$

(说明 6.4.4—8)

$l_1, l_2, \dots, l_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  均系导线边距离、角度独立观测值，若以  $\frac{m_l}{l}$  表示测边精度， $m_\beta$  表示测角精度，并将式（说明 6.4.4—8）转换成中误差形式：

$$m^2 = d_{y1}^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + d_{y2}^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + \dots + d_{yn}^2 \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 + R_{x1}^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 + R_{x2}^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 + \dots + R_{xn}^2 \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2$$

(说明 6.4.4—9)

$$\text{令 } m_{yl}^2 = \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 \Sigma d_y^2, \quad m_{y\beta}^2 = \left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \Sigma R_x^2$$

$$\text{则 } m^2 = m_{yl}^2 + m_{y\beta}^2 \quad (\text{说明 6.4.4—10})$$

式（说明 6.4.4—10）即为隧道贯通误差影响近似计算公式。从以上推导过程可以看出，导线测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差计算公式，系根据单导线推导出来的。但现场施测时为了满足贯通精度的需要及增强网的可靠性，隧道洞内、洞外控制测量一般不接单导线形式布设，而采用多边形闭合导线环，视作双导线，贯通误差取单导线的  $1/\sqrt{2}$  倍。

#### 四十四、修改第 6.4.8 条。

正文修改为：洞口控制点布设应符合下列规定：

- 1 每个洞口平面控制点和水准点布设，均不应少于 3 个。
- 2 用于向洞内传递方向的洞外联系边长度不宜小于 500m。

3 GNSS 控制网进洞联系边最大俯仰角不宜大于  $5^\circ$ ，导线网、三角形网的最大俯仰角不宜大于  $15^\circ$ 。

4 洞口 GNSS 控制点应方便用常规测量方法检测、加密、恢复和向洞内引测。

5 洞口附近的水准点宜与隧道洞口等高，两水准点间高差以水准测量 1~2 站即可联测为宜。

**条文说明修改为：**洞口平面控制点、高程控制点是洞内导线测量和高程测量的起算点，又是洞口及其附近地段施工的直接依据。这些点将被长期使用至隧道贯通。使用中，这些点是否发生平面和高程位移，需要进行检测，平面控制点通常用测角、测边检核，高程一般检测两点间的高差。因此，洞口子网不少于 3 个平面控制点和 2 个水准点才能进行检测。为了使检测结果可靠，需要适当增加控制点来证明起算点的稳定性。因此，洞口平面和高程控制点均要求不少于 3 个。

不论洞外控制网是 GNSS 网、三角形网还是导线环，一座隧道不需要分几个等级层次，采用全网同精度观测，整体平差，使全网精度均匀，能够避免分级平差时上一级网给下一级网带来的起始数据误差影响，也能够避免因误差的不均匀分布降低插网精度而影响隧道贯通。现在通常作法是，洞外控制网洞口布设三角形或大地四边形，布网后临时放设洞门并指导施工，当洞内有条件布设导线网时，直接从洞外控制网向洞内引测导线，虽然不再设置洞口插网，但能够在洞门附近适宜位置设 GNSS 点进洞。

隧道施工控制网进洞联系边需要选择两端尽可能等高的长边控制点，其主要目的是消除垂线偏差对隧道贯通误差的影响。

#### 四十五、修改第 6.4.10 条。

正文修改为：洞外 GNSS 平面控制测量应符合下列规定：

1 GNSS 控制网应由洞口子网和子网之间的联系主网组成。

洞口子网应布设成大地四边形，进洞联系边应为直接观测边，进出口联系网宜在不同时段进行观测。当洞口子网采用 GNSS 测量困难时，可测量一条 GNSS 定向边，洞口子网的其他控制点可采用全站仪测量。

2 布网时应将选定的施工独立坐标系坐标原点和 X 轴方向点直接边纳入 GNSS 控制网。

条文说明修改为：洞口子网用于控制该洞口并向洞内传递洞外控制数据，各洞口子网通过主网联系在一起，形成隧道的洞外平面控制网。当洞口子网采用 GNSS 测量困难时，可测量一条 GNSS 定向边，其他控制点可采用全站仪测量。

#### 四十六、修改第 7.1.2 条。

正文修改为：桥梁测量工作开展前，宜收集下列桥址区域已有的测量资料：

1 近期各种比例尺的地形图及其所属坐标、高程系统。

2 国家和地方的 GNSS 点、三角点、导线点和水准点数据及系统间的换算关系。

3 与桥梁相关的铁路、公路、水文、水利、电力及航运等部门高程数据及系统间的换算关系。

#### 四十七、修改第 7.2.8 条。

正文修改为：桥址地形图可采用 GNSS RTK、全站仪或摄影测量等方法测绘，测图精度及其他技术要求应符合本规范第 5.3 节的规定。水下地形点的平面位置和高程可采用 GNSS RTK 或 RTD、断面法或前方交会法配合水深测量设备进行测绘，测图精度及其他技术要求应符合现行行业标准《铁路工程测量规范》TB10101 的规定。

#### 四十八、修改第 7.3.4 条。

正文修改为：桥址纵断面测量应满足下列要求：

1 桥址纵断面的测绘范围，受地形控制的桥梁应测至两岸线路路肩设计高程以上；当河滩过宽、洪水漫流时，必须满足桥梁孔跨、导流建筑物和桥头路基设计的需要。地面横坡大于 1:3 地质复杂的桥址，应在桥址中线上、下游两侧各 3m~10m 处增测辅助纵断面。

2 桥址纵断面测量应在线路中线测量时一次完成。当线路中线加桩不足时，可在地形变化处加密。

3 桥址纵断面在水面以上部分的测点里程可根据桥址中线控制桩采用 GNSS RTK 或全站仪测定。各测点与起点间量距误差，一般桥涵不应大于距离的 1/200，复杂特大桥不应大于距离的 1/2 000；横向偏距不应大于 0.2 m。

4 水下断面测点的位置可采用 GNSS RTK、前方交会法或断面法等方法测定。前方交会法的基线长度丈量限差为长度的

1/500，交会角不应小于 20°。水下断面测点的高程应利用测时水位和水深求算，水深可选用测深仪、测深杆或测深锤测定。

#### 四十九、修改第 7.4.1 条。

正文修改为：桥梁施工平面控制网可结合桥梁长度、平面线型和地形环境等条件选用 GNSS、三角形网、导线方法及其组合法测量。高程控制网应采用水准测量方法测量，条件困难的山区可采用精密光电测距三角高程测量方法测量。

#### 五十、修改第 7.4.3 条。

正文修改为：施工平面控制网的测量等级应根据式（7.4.2）估算出的必要精度，按表 7.4.3 选定。

**表 7.4.3 桥梁施工平面控制测量等级和精度**

测量等级			桥轴线边 相对中误差	最弱边 相对中误差
GNSS 测量	三角形网 测量	导线测量		
一等	—	—	≤1/250 000	1/180 000
二等	—	—	≤1/200 000	1/150 000
三等	二等	—	≤1/150 000	1/100 000
四等	三等	三等	≤1/100 000	1/70 000

注：对于桥长小于 800m 的桥梁，当桥址两岸已有足够数量的 CPI、CPII 控制点且能满足桥梁施工精度要求时，可直接利用之，无需另行建网。

条文说明修改为：桥梁施工平面控制网的必要精度主要由跨河正桥施工精度确定。实际工作中，一般按式（7.4.2）估算出控制网中最弱边的相对精度后，再根据表 7.4.3 的规定选定控制网测量等级。平差后，控制网中桥轴线边的测量精度需满足表 7.4.3 的规定。

对于复杂特大型桥梁，由于其施工精度要求高，一般不允许

出现长度变形，而且对施工控制点的密度和位置均有严格要求，因此，通常需要单独建网。而对于桥长小于 800m 的桥梁，当桥址两岸已有足够数量的 CPI、CPII 控制点且其点位分布合理，同时投影变形不大，不至于影响施工放样精度时，能够直接利用的，无需另行单独建网。单独建网时，需联测线路控制网(CPI、CPII)，建立桥梁施工控制网与线路控制网的关系，供接线设计使用，以保证桥梁与其两端线路中线正确衔接。

表 7.4.3 的精度等级(说明表 7.4.3—1)系根据本规范第 3 章表 3.1.5—1 卫星定位测量控制网的主要技术要求、表 3.1.6—1 导线测量的技术要求、表 3.1.7 三角形网测量的技术要求和《新建铁路工程测量规范》TB 10101—99 中表 6.6.4 控制三角网等级和精度(说明表 7.4.3—2)综合制定。该表合理地兼顾到桥梁施工控制网的必要精度和 GNSS 网的高精度特点，在《新建铁路工程测量规范》TB 10101—99 中表 6.6.4 的基础上，融入数十座大型桥梁工程的控制网测量精度统计结果，并充分考虑到对本规范第 3 章控制测量一般性技术要求的正确引用等规范衔接问题。

**说明表 7.4.3—1 桥梁施工平面控制测量等级和精度**

测量等级			桥轴线边 相对中误差	最弱边相 对中误差
GNSS 测量	三角形网测量	导线测量		
一等	-	-	$\leq 1/250\ 000$	1/180 000
二等	-	-	$\leq 1/200\ 000$	1/150 000
三等	二等	-	$\leq 1/150\ 000$	1/100 000
四等	三等	三等	$\leq 1/100\ 000$	1/70 000

说明表 7.4.3—2 原《测规》中桥梁平面控制测量等级和精度

等级	测角中误差(″)	桥轴线相对中误差	最弱边相对中误差
一等	0.7	1/175 000	1/150 000
二等	1.0	1/125 000	1/100 000
三等	1.8	1/75 000	1/60 000
四等	2.5	1/50 000	1/40 000
五等	4.0	1/30 000	1/25 000

具体说明如下：

(1) 说明表 7.4.3—2 主要针对三角形建网方式而制定的，目前已基本上采用 GNSS 建网技术。由于 GNSS 静态定位技术的精度高，比传统的三角形网测量方法更容易达到比较高的测量精度，同时考虑到高速铁路工程精度要求高的特点，因此，表 7.4.3 中的精度指标（桥轴线边相对中误差、最弱边相对中误差）比原测规中相应等级略有提高，大量工程实践证明：这种提高是合理可行的。

(2) 本规范表 7.4.3（即说明表 7.4.3—1）中一等 GNSS 测量的最弱边相对中误差略大于第 3 章表 3.1.5—1 的要求，理由是考虑到桥梁施工控制网的最弱边一般较短，最弱边精度通常不定得过高。工程实践证明：当跨河桥长大于 2.5 km 时，最弱边精度要求在 1/150 000 以上，按本规范第 3 章中一等 GNSS 网的技术要求进行观测。

(3) 考虑到目前桥梁施工控制网很少采用三角形网测量技术，因此表 7.4.3 中淡化了三角形网和导线测量方法的规定。本规范第 3 章中关于三角形网、导线测量中最弱边的中误差规定比

相应等级 GNSS 方法的规定近似低一个等级，同时，本规范表 3.1.6—1 和表 3.1.7 规定的水平角观测测回数比原《新建铁路工程测量规范》TB 10101—99 中相应等级桥梁三角网的测回数略有减少，综合分析的结果是：对应于同一个最弱边精度指标的桥梁施工控制网，三角形网和导线测量比 GNSS 网要高一个等级。

(4) 根据桥梁工程的特点，跨河主桥部分通常不采用二等导线进行施工控制网测量。其次，与普通的新建铁路相比，高速铁路精度要求高，因此，表 7.4.3 中不对五等 GNSS、四等三角形网和导线进行规定。

#### **五十一、修改第 7.6.1 条。**

**正文修改为：**当施工控制点密度不能满足施工定位放样需要时，应在施工控制网基础上采用 GNSS 静态测量、导线、三角形网测量方法进行加密。加密点应选在距桥中线较近、通视条件较好且不受施工作业干扰、稳固的地基或构（建）筑物上。长距离跨海桥梁施工中，可在海中相隔 2km 左右的优先施工桥墩承台上布设 GNSS 加密控制点。

**条文说明修改为：**受建网阶段和条件的限制，勘测阶段建立的桥梁施工控制网在点位、密度及其数量方面通常不能完全满足长周期施工放样的需要；其次，工程施工也会造成控制点损坏和视线遮挡。因此，工程施工各阶段需要根据施工进度和实际需要，在首级控制网基础上进行施工控制点的加密。

具体的加密方法一般分为同级同精度加密和降级加密两大

类，实际工作中，一般根据施工定位放样的精度要求选择适当的加密方式。如在首级控制网基础上建立斜拉桥、悬索桥施工专用控制网时，采用同精度加密，甚至以更高的相对精度进行施测；如加密控制网的作用在于进行精度要求较低的工程施工放样时，则在首级控制网基础上降低 1~2 个等级进行加密测量，具体的精度等级取决于施工放样的精度要求。

## 五十二、修改第 7.6.10 条。

**正文修改为：**海中桥墩基础施工放样及其竣工测量可采用 GNSS RTK 技术进行，平面测量限差为 20mm、高程测量限差为 40mm。GNSS RTK 测量应符合现行行业标准《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054 的相关规定。

**条文说明修改为：**桥梁基础施工放样及其竣工测量一般采用 GNSS RTK 技术。建立作用范围和实时定位精度满足施工放样要求的 GNSS 基准站。基准站设置及 RTK 测量按照《铁路工程卫星定位测量规范》TB 10054-2010 第 7 章的相关规定进行。

(1) 海上 GNSS 打桩定位系统进场后及每个承台第一根桩的施工过程中，采用下列方法校核：

① 全站仪辅助定位；

② 改换使用另一个 GNSS 基准站的信号；

③ 船上布设校核点，测量其三维坐标，再根据校核点与桩身的几何关系推算出桩身偏位。

承台其余桩位的校核一般采用量取各桩之间的几何距离来

比对。

(2) RTK 测量过程中,要防止 GNSS 假锁定。一般采用以下方法:

① 解算安装在打桩船上两 GNSS 接收机天线之间的距离,与其安装距离比对,若不符值超过 5cm,则判定为 GNSS 解算失误。

② 桩身到位后,关闭 GNSS 主机,1min 后再开机重新锁定。

(3) 测量海中钢管桩桩顶标高时,在上、下游的承台钢管桩中各选一个倾斜度相对较小的钢管桩。标高一般用 RTK 放样,每根桩放样 3 次,再用塑料水管进行两桩校核,选取其相符值。

(4) 海中其他钢管桩截桩标高测量按照下列流程进行:

① 承台其他桩的标高,从已测桩开始用塑料水管顺次引测至已测桩。当已测桩两次测量标高之差超过 5mm 时,进行返测,直至符合要求为止。

② 每次测高前,在控制点上进行 RTK 比对,求取 RTK 测高改正常数,并在已放样好的标志上进行验证。

(5) 钢管桩桩头处理完毕后按下列流程测量钢管桩中心点的坐标,将其归算至设计标高处并与设计坐标比较,其较差不大于  $1/4 d$  ( $d$  为桩径)。

① 截桩后,在桩顶安放十字架,用 RTK 测定桩心坐标,计算桩心偏位。

② RTK 测取桩心坐标时观察屏显数据随桩体晃动的变化情

况，记录晃动中心值，每根桩记录 3 次，取其均值。

### 五十三、修改第 7.6.11 条。

正文修改为：承台、墩身、顶帽及垫石平面形状和尺寸应依据桥墩中心纵横十字线放样，高程可采用几何水准或光电测距三角高程测量方法测定，并应符合下列规定：

1 承台模板尺寸的设放限差为 40mm，高程设放限差为 30mm；墩身模板尺寸的测量限差为 20mm，高程设放限差为 30mm，模板上同一高程线的测量限差为 10mm。

2 顶帽立模前应检查中心十字线的正交性。顶帽模板尺寸的设放限差为 10 mm，高程精度应符合四等水准测量要求。灌注混凝土前，应检查该墩至两邻墩之跨距。

3 使用全站仪进行承台、墩身、顶帽、垫石放样及模板检查时，应检测后视点坐标，实测坐标与已知坐标的互差不应大于 10mm，且前视距离不应超过后视距离。

4 长距离跨海桥梁的海中承台施工时，可先在承台上测设 GNSS 加密控制点，然后采用全站仪极坐标法进行海中承台轴线点施工放样。承台高程可采用 GNSS 高程拟合法测定，高程拟合误差不应大于 30mm。墩身高程必须进行全桥贯通测量。

5 灌注顶帽混凝土至顶部时，应根据需要在墩顶桥梁中线上埋设中心标 1~2 个，并在墩顶上、下游异侧各埋设水准标一个（图 7.6.11）。在桥墩建成后，应测定中心标里程及高程。

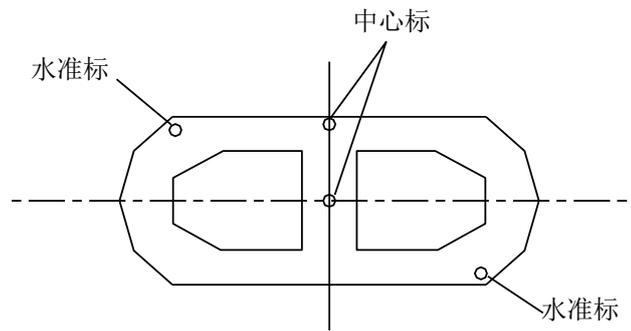


图 7.6.11 桥墩顶帽预埋点示意图

#### 五十四、修改第 7.6.18 条。

正文修改为：斜拉桥主塔塔座竣工后，应按下列规定建立高塔柱施工控制点：

1 采用测边交会法、边角后方交会法或 GNSS 静态相对测量技术，精密测放主塔墩墩中心点，点位限差为 5mm。同时应设立上、下游墩中心线控制点。

2 当主跨实测跨距与设计跨距的差值超过 5mm 时，应适当调整两主塔中心点位置，同时调整相邻桥墩中心点位置。边跨实测跨距与设计跨距的较差不应超过 5mm。

3 以两主塔中心连线作为斜拉桥桥中线时，应检测主塔墩两端相邻墩的位置。当相邻墩偏离桥中线方向的距离超过 5mm 时，应适当调整相邻墩墩中心点的位置。

4 桥中线和墩中心线方向上应设立四个水准标。相邻墩墩顶水准标的测定应符合本规范第 7.6.13 条的规定，并应与主塔塔座水准标进行二等跨河水准联测。

#### 五十五、修改第 8.6.3 条。

正文修改为：区域沉降监测可综合运用水准测量、GNSS、

InSAR 和分层标、地下水位监测等技术手段。

**条文说明修改为：**区域地面沉降监测是高速铁路建设和运营期间的一项重要工作。结合京沪高速铁路区域地表沉降监测的实际工作经验及相关科研项目的初步研究成果，一般采用传统的水准测量、现代的合成孔径雷达干涉（InSAR）遥感技术、分层桩等多种技术进行监测，监测成果可以相互补充和检核，以得到准确的区域地表沉降信息。并对区域沉降发展趋势进行预测，评估其对高速铁路建设和安全运营维护的影响。

**五十六、修改第 8.6.9 条。**

**正文修改为：**GNSS 测量宜按照本规范 CP0 的技术要求施测，GNSS 控制点应与线路水准基点进行联测。

**五十七、修改第 10.5.1 条。**

**正文修改为：**铁路用地界桩测量应根据铁路用地图，在 CPI、CPII、CPIII 控制网基础上采用全站仪坐标法、全站仪自由设站法或 GNSS RTK 进行测设。

**五十八、修改第 11.2.6 条。**

**正文修改为：**区域沉降地段监测可采用 InSAR、GNSS、水准测量或建立分层水位监测井和分层沉降标等方法。