

高速铁路

精测控制网的布设和测量

1 高速铁路控制网精度控制标准

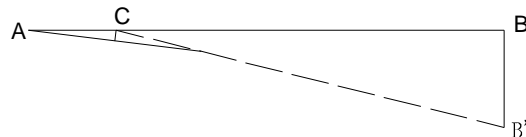
为保证旅客列车高速运行时的安全性和舒适度，铁路轨道的平顺度是重要指标。轨道平顺度包含线路方向和纵向方向两个分量，线路方向的不平顺是指钢轨头内侧与钢轨方向垂直的凸凹不平顺。高速铁路平顺度要求在线路方向每 10 米弦实测正矢与理论正矢之差为 2 毫米。

线路平顺度的要求和控制测量的精度有一定的关系，对于线路形状来说，平顺度只是一种局部误差。不能依线路平顺度的要求作为控制测量的精度标准。因为，平顺度对线路位置误差的影响有积累性和扩大的趋势，当实际线路偏离设计位置很远时，线路仍旧可以满足平顺度要求。

1.1 短波平顺度对线路位置的影响

现以直线线路讨论，当在 10 米处产生 2 mm 不平顺度时，线路将出现转折角为（82.5°），直线 B 移至 B' 点。

每个不平顺度具有偶然性，因此，由各段不平顺度产生的点位移按偶然误差计算，设 AB 为 150 米，则 $m_{\beta} = 127 \text{ mm}$ 。



短波不平顺累计误差示意图

1.2 长波平顺度对线路位置的影响

长波平顺度要求，150 米处不大于 10 mm，当在 150 米处产生 10 mm 不平顺度时，线路将出现转折角为（27.5°）。设 AB 为 900 米，则 $m_{\beta} = 147 \text{ mm}$ 。

对于无砟轨道铺设 150 米不大于 10 mm 的要求，从控制测量精度来讲，要比每 20 米弦实测正矢与理论正矢之差为 2 毫米的精度要求高。

虽然如此，如果仅仅控制轨道的平顺度，在达到要求的情况下，轨道的整体线形总是不能保证。

由上可知，在客运专线无砟轨道的施工过程当中，仅仅控制轨道的平顺度是不够的，我们还需要建立无砟轨道施工测量控制网来实现轨道的总体线形的正确。

1.3 CP 和 CP 误差计算

通过无砟轨道施工中轨道对平顺度的相关要求，我们可以反推出 CP 和 CP 控制网的相关精度要求。

CP 和 CP 最弱点的横向中误差计算

按导线测量方法，计算最弱点的横向中误差公式为：

$$m_k = \frac{1}{2} \frac{S - m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\frac{n+6}{48}}$$

《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》中要求的各级平面控制网布网要求如下表所示：

控制网级别	测量方法	测量等级	点间距	备注
CP	GPS	B 级	1000m	4km—对点
CP	GPS	C 级	800~	
	导线	四等	1000m	
CP	导线	五等	150~200m	10~20m—对点
	后方交会		50~60m	

对于 CP，取 $S=800 \text{ m}$ ，则可计算得 $m_k = 3.7 \text{ mm}$ ；

对于 CP，取 $S=4000 \text{ m}$ ，则可计算得 $m_k = 11.6 \text{ mm}$ 。

假定导线纵向误差等于横向误差，则可

计算最弱点点位中误差分别约为 5 mm和 15 mm。

相邻两点的相对中误差计算：

《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》中 GPS测量的精度要求规定如下表所示：

控制网级别	基线边方向中误差	最弱边相对中误差
CP	1.3	1/170 000
CP	1.7	1/100 000

CPI 相邻两点的相对中误差

边长： $4000000 \times 1/170000 = 23.5\text{mm}$

方向： $4000000 \times 1.3 / 206265 = 25\text{mm}$

相邻两点的相对点位中误差为 34.3mm

CP 相邻两点的相对中误差

边长： $800000 \times 1/100000 = 8\text{mm}$

方向： $800000 \times 1.7 / 206265 = 6.6\text{mm}$

相邻两点的相对点位中误差为 10.4mm

2 平面控制网

《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》中规定：

平面控制分三级布设：

第一级为基础平面控制网（CPI），为勘测、施工、运营维护提供坐标基准。

第二级为线路控制网（CP），为勘测和施工提供控制基准。

第三级为基桩控制网（CPⅢ），为铺设无砟轨道和运营维护提供控制基准。

2.1 CPI、CP 布测方法

CPI 沿线路走向，每 4 千米一个或一对点，按铁路 B 级 GPS 测量要求施测。基线

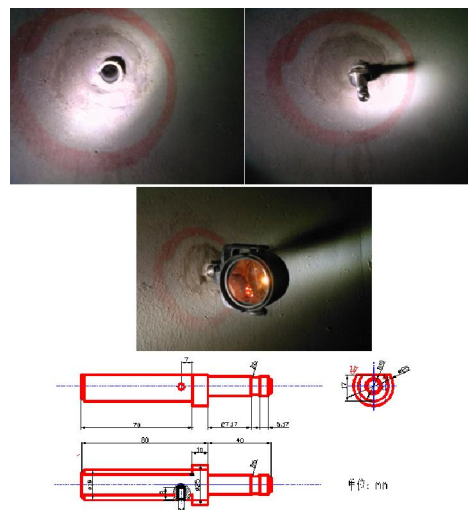
边方向中误差不大于 1.3，最弱边相对中误差 1/170000

CP 在 CPI 的基础上采用 GPS 测量或导线测量方法施测。点间距离 800~ 1000 米。GPS 测量按铁路 C 级要求施测。基线边方向中误差不大于 1.7，最弱边相对中误差 1/100000；导线测量等级为四等，测角中误差 2.5，相对闭合差 1/40000

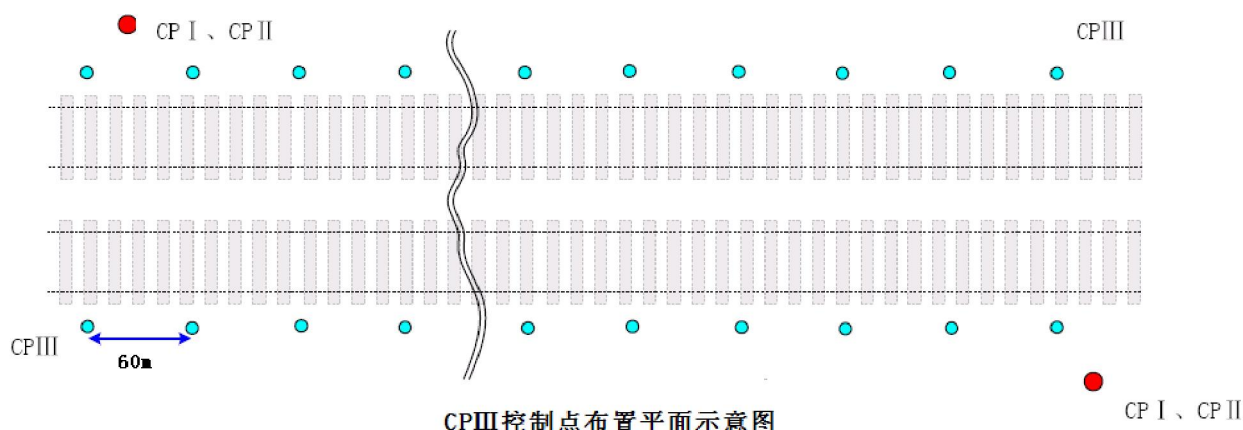
2.2 CP 控制点的布测方法

2.2.1 CP 控制点的元器件：

采用工厂精加工元器件（要求采用数控机床），用不易生锈及腐蚀的金属材料制作，CP 控制点标志重复安置精度应达 0.3 mm。

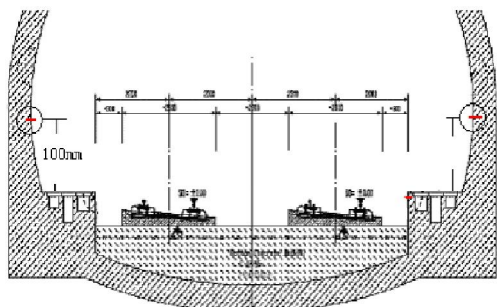


CP 器件完整示意图

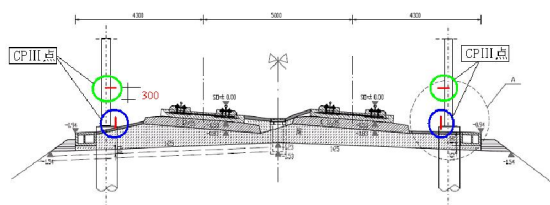


2.2.2 CP 控制点的布设

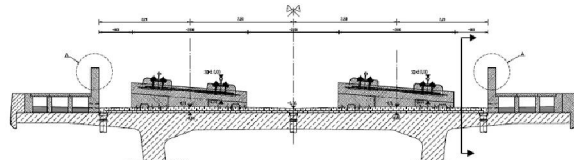
(1) CP 控制点距离布置一般为 60m 左右, 且不应大于 80m, CP 控制点布设高度应与轨道面高度保持一致的高度间距。



隧道内 CP 控制点位置示意图
注：标记点设置在内衬上，位距电缆槽边墙表面约 100cm 左右。



路基地段 CP III 控制点位置示意图



桥梁上 CP III 控制点位置示意图

2.2.3 CP 控制点的定位精度要求

CP 控制点的定位精度要求表 (mm)

控制点		可重复性测量精度	相对点位精度
CP	后方交会测量	5	1

2.2.4 CP 控制点的测量

(1) 仪器要求

全站仪必须满足如下精确度要求：

角度测量精确度：1

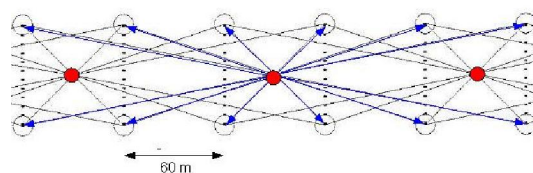
距离测量精确度：1mm+2ppm

使用带目标自动搜索及测量的自动化全站仪。

每台仪器应至少配 13 套棱镜, 使用前应对棱镜进行检测。

(2) 测量方法

CP 控制网采用自由设站交会网(《客运专线无碴轨道铁路工程测量暂行规定》称为“后方交会网”)的方法测量, 自由测站的测量, 从每个自由测站, 将以 2×3 个 CP 点为测量目标, 每次测量应保证每个点测量 3 次, 测量方法见下图。



● 测站 (自由站点)

○ CP 控制点

→ 向 CP 点进行的测量 (方向、角度和距离)

↔ CP 控制点距离为 60m 左右, 且不应大于 80m, 观测 CP 点允许的最远的目标距离为 120m 左右, 最大不超过 180m

每次测量开始前在全站仪初始行中输入起始点信息并填写自由测站记录表, 每一站测量 3 组完整的测回。

应记录于每个测站的: T 温度、气压以及 CP I、CP 点上的目标点的棱镜高测量, 并将温度、气压改正输入每个测站上。

对于线路有长短链时, 应注意区分重复里程及标记的编号。

(3) 水平角测量的精度应按如下要求进行:

测量水平方向: 3 测回;

测量测站至 CP 标记点间的距离: 3 测回。

方向观测各项限差根据《精密工程测量规范》(GB/T 15314-1994) 的要求不应超过下表的规定, 观测最后结果按等权进行测站平差。

经纬仪 类型	电子经 纬仪两 次读数 差	半测 回归 零差	一测 回内 2C互 差	同一方 向值各 测回互 差
DJ05	0.5	4	12	4
DJ07	1	5	12	5
DJ1	1	6	12	6

注：DJ05为一测回水平方向中误差不超过 ± 0.5 的经纬仪。

每个点应观测 3 个全测回。

距离的观测应与水平角观测同步进行，并由全站仪自动进行。

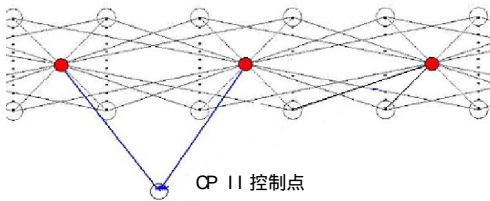
(4)平面测量可以根据测量需要分段测量，其测量范围内的 CP 点应联测。

2.2.5 与上一级 CP 控制点联测

与上一级 CP 控制点联测时应保证 800—1000 米的间隔联测一个。

(1) 与上一级 CP 控制点联测，一般情况下应通过 2 个或以上线路上的自由测站，见下图。

联测高等级控制点时，应最少观测 3 个完整测回数据（其精确度应在 5 毫米误差以下）。



与 CP 控制点联测示意图

● 测站（自由站点）

○ CP 控制点

→ 向 CP 点进行的测量（方向、角度和距离）

(2) 为了使相邻重合区域能够满足 CP 网络的测量高均匀性和高精度，每个重合区域至少要有 3 到 4 对 CP 点（约为 180 米的重合）一起测量，并且考虑平差，每个区域不小于 4 公里为宜。

桥梁、隧道段须与已有的独立的隧道施工控制网相连接。通过选取适当的 CP 点

和 CP 特殊网点，来保证形成均匀的过渡段。

(3) CP 控制网应与线下工程竣工中线进行联测。

2.2.6 内业数据处理

在自由设站 CP 测量中，测量时必须使用与全站仪能自动记录及计算的专用数据处理软件，采用软件必须通过铁道部相关部门正式鉴定。

观测数据存储之前，必须对观测数据的质量进行检核。包括如下内容：

观测者、记录者、复核者签名；

观测日期、天气等气象要素记录。

检核方法可以采用手工或程序检核。

观测数据经检核不满足要求时，及时提出重测，经检核无误并满足要求时，进行数据存储，提交给数据计算、平差处理。

数据计算、平差处理必须是经采用通过铁道部相关部门正式鉴定软件，在计算报告中要说明软件名称。自由设站点、CP 点进行整体平差。平差计算时，要对各项精度作出评定。

3 高程控制网的建立

《客运专线无砟轨道铁路工程测量暂行规定》中规定：

高程控制测量分为勘测高程控制测量、水准基点高程控制测量和 CP 控制点高程控制测量。

控制网级别	测量等级	点间距
勘测高程控制测量	二等水准测量	2000m
	四等水准测量	
水准基点高程控制测量	二等水准测量	2000m
CP 控制点高程控制测量	精密水准测量	800m

各等级水准测量精度

水准 测量 等级	每千米水准测量偶然中误差 M_{Δ}	每千米水准测量全中误差 M_W	限 差			
			监测以测段高差之差	往返测不符值	附和路线或环线闭合差	左右线路高差不符值
二等水准	1.0	2.0	6 \sqrt{L}	4 \sqrt{L}	4 \sqrt{L}	—
精密水准	2.0	4.0	12 \sqrt{L}	8 \sqrt{L}	8 \sqrt{L}	4 \sqrt{L}
三等水准	3.0	6.0	20 \sqrt{L}	12 \sqrt{L}	12 \sqrt{L}	8 \sqrt{L}

注：表中 L 为往返测段、附和或环线的水准路线长度，单位为 km。

3.1 高程控制测量

勘测高程控制测量、水准基点高程控制测量依照国家相关技术规范进行。

CP 控制点高程控制测量又分为两种：导线网 CP 控制点、后方交会网 CP 控制点高程控制测量。

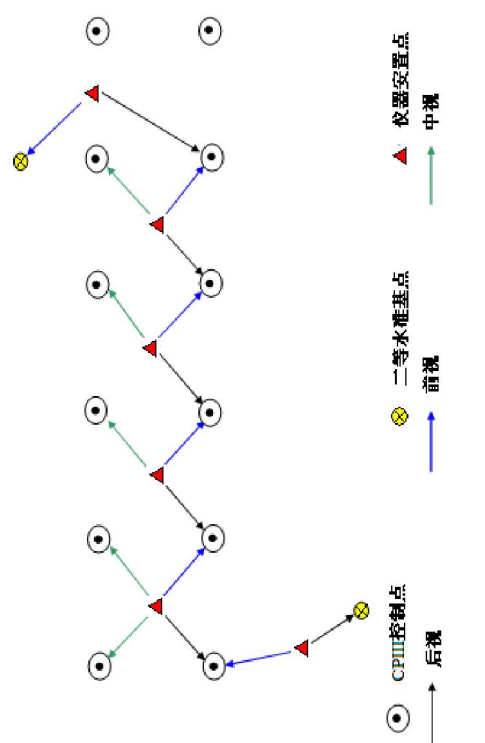
CP 控制点高程控制测量采用的水准等级为精密水准。

现对后方交会网 CP 控制点高程控制测量作详细说明。

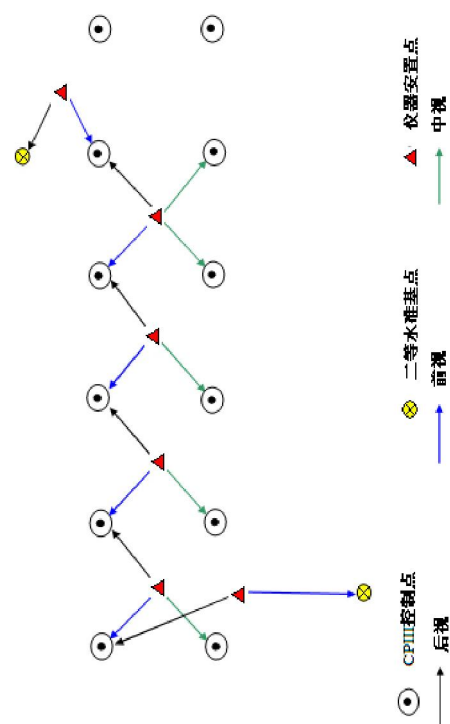
3.1.1 测量方法

每一测段应至少与 3 个二等水准点进行联测，形成检核。联测时，往测时以轨道一侧的 CP 水准点为主线贯通水准测量，另一侧的 CP 水准点在进行贯通水准测量摆站时就近观测。返测时以另一侧的 CP 水准点为主线贯通水准测量，对侧的水准点在摆站

时就近联测。



往测水准路线示意图



水准返测示意图

3.1.2 CP 高程控制点精度要求

CP 控制点水准测量应按《客运专线无碴轨道铁路工程测量技术暂行规定》中的“精密水准”测量的要求施测。CP 控制点高程测量工作应在 CP 平面测量完成后进行，并起闭于二等水准基点，且一个测段联测不应少于三个水准点。

精密水准测量采用满足精度要求的水准仪，配套因瓦尺。使用仪器设备应在鉴定期内，有效期最多为一年，每年必须对测量仪器精确度进行一次校准，每天使用该仪器之前，对仪器进行检验和校准。

精密水准测量的主要技术标准要求

等级	每千米高差全中误差 (mm)	路线长度 (km)	水准仪等级	水准尺	观测次数		往返较差或闭合差 (mm)
					与已知点联测	附和环线	
精密水准	4	2	DS1	因瓦	往返	往返	$\pm 8\sqrt{L}$

注：结点之间或结点与高级点之间，其路线的长度，不应大于表中规定的 0.7 倍。

L 为往返测段、附和或环线的水准路线长度，单位 km

(2) 精密水准观测应符合以下要求

等级	水准尺类型	水准仪等级	视距 (m)	前后视距差 (m)	测段的前后视距累积差 (m)	视线高度 (m)
精密水准	因瓦	DS1	60	2.0	4.0	下丝读数 0.3
		DS05	65			

注：L 为往返测段、附和或环线的水准路线长度，单位 km

DS05 表示每千米水准测量高差中误

差为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

(3) 测站观测限差

等级	上下丝读数平均值与中丝读数的差	基辅分划读数的差	基辅分划所测高差的差	检测间歇点高差的差
精密	1.5	0.5	0.7	1.0

因水准路线较短，故不设间歇点。

视距长 60m;

前后视距差 1.0m;

前后视距累计差 3.0m

上述观测限差超限时，重新观测。

测站数为偶数，一般为 6 或 8 个。由往测转往返测时，两支标尺应互换位置，并应重新整置仪器。

3.1.4 CP 控制点高程测量数据处理

CP 控制点高程测量应严密平差，平差计算取位下表中精密水准测量的规定执行。

精密水准测量计算取位

等级	往返测距离总和 (km)	往返测距离中数 (km)	各测站高差 (mm)	往返测高差总和 (mm)	往返测高差中数 (mm)	高程 (mm)
精密水准	0.01	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1

4 CP 测量所使用的仪器

4.1 全站仪

适合于进行 CP 测量的全站仪有 Leica (徕卡) 系列的：TCA1201+, TCRP1201+, TCA1800, TCA2003 等



TCA2003 TCA1800

青睐与肯定，在已建成和在建的高速铁路工程中都有着广泛的应用。



DNA03



TCRP1201+ TCA1201+

每台仪器应至少配 13 套棱镜，使用前应对棱镜进行检测。

注：使用前应对配合全站仪使用的所有棱镜进行检测，所有棱镜的棱镜常数都必须相同。

5 结语

徕卡测量仪器因为其卓越的测量精度与稳定性，获得了广大测量人员的充分肯定。在中国高速铁路的建设过程中徕卡测量仪器的身影无处不在。

在国内已经建成的高速铁路中，徕卡测量仪器有非常成功的应用经验，其高精度，高可靠性，高稳定性是施工单位按期优质完成任务的重要保证！

徕卡又适时同国内的相关单位展开了广泛的合作，开发出了种类繁多，功能齐全的高铁相关软件及附件。

徕卡必将成为中国高速铁路的最佳伴侣！

4.2 水准仪

在进行 CP 精密水准测量时应该使用精密水准仪，徕卡满足使用需求的光学水准仪是 NA2；

徕卡高速铁路应用工程师：张好初
二〇〇九年五月十四日与上海

NA2精密光学水准仪相关技术指标

每公里往返测高程精度	0.7mm , 0.3mm (带测微计)
放大倍率	标准 32x,
补偿器设置精度	0.3"
补偿器工作范围	± 30'
工作温度	-20 到 +50
贮藏温度	-40 到 +70

CP 控制点因为点数繁多，水准测量工作量大，故推荐使用精密电子水准仪。

徕卡 DNA03数字水准仪凭借其卓越的性能，稳定的表现获得了多家高铁施工单位的