

中华人民共和国行业标准

铁建设[2003]13 号

---

京 沪 高 速 铁 路 工 程 测 量  
暂 行 规 定

2003 年-01-27 发布

2003 年-02-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

# 前 言

本暂行规定根据铁道部科技发展计划项目合同(99G35)要求，进行研究和编制。

本暂行规定共分五章，主要内容为：总则、术语和符号、线路测量、桥梁测量、隧道测量，另有二个附录。

暂行规定的测量精度和选用的测量方法，主要依据“八五”、“九五”国家重点科技攻关计划专题——高速铁路线桥隧站设计参数与技术条件的研究等有关成果吸取了京沪、秦沈测量的实践经验，也参考了国外高速铁路线路测量规范。

在执行本暂行规定过程中，希望各单位结合工作实践，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铁道第四勘察设计院(武昌杨园，邮政编码：430063)，并抄送铁道部高速铁路办公室(北京市复兴路10号，邮政编码：100844)，供今后修改时参考。本暂行规定由铁道部建设管理司、科技教育司负责解释。

本暂行规定组织编写单位：铁道部高速铁路办公室。

本暂行规定主编单位：铁道第四勘察设计院。

本暂行规定参编单位：铁道第三勘察设计院。

本暂行规定主要起草人：王汝南、陈仲华、喻文球、毕东风、林卫东、王玉泽、申广博、李应红、刘云东、徐立、戴建龙、肖军、华德洪、韩启孟、李殿龙。

# 目 次

1	总则	1
2	术语和符号	3
2.1	术语	4
2.2	符号	4
3	线路测量	6
3.1	GPS 测量	6
3.2	导线测量	7
3.3	初测高程测量	11
3.4	地形测量	16
3.5	交点及控制桩测量	22
3.6	中线测量	23
3.7	定测高程测量	23
3.8	横断面测量	24
3.9	施工复测	24
3.10	施工放样	26
3.11	竣工测量	26
3.12	测绘成果计算及整理	27
4	桥梁测量	31
4.1	一般规定	31
4.2	GPS 平面控制测量	32
4.3	三角网控制测量	34
4.4	导线控制测量	42
4.5	高程控制测量	43
4.6	控制测量的检查	47
4.7	测量成果整理及技术总结	48
5	隧道测量	50

5.1	一般规定 .....	50
5.2	GPS 洞外平面控制测量 .....	53
5.3	导线测量 .....	54
5.4	高程测量 .....	57
5.5	施工测量 .....	59
5.6	贯通误差的测定及调整 .....	61
5.7	竣工测量 .....	64
5.8	测量成果整理及技术总结 .....	64
附录 A	控制点埋石图及标志注字方法 .....	67
附录 B	光电测距一般要求 .....	69
	本暂行规定用词说明 .....	70
	《高速铁路测量暂行规定》条文说明 .....	71

# 1 总 则

1.0.1 为统一高速铁路工程测量的技术要求，保证工程测量质量，制定本暂行规定。

1.0.2 本暂行规定适用于高速铁路铁道工程测量。

1.0.3 高速铁路的平面坐标宜采用 1954 年北京坐标系。在测区内投影长度的变形值不宜大于 2.5cm/km。根据测区所处地理位置和线路高程情况，可按下列方法选定坐标系统：

1 采用全国统一的高斯正投影 3° 带平面直角坐标系；

2 采用投影于测区抵偿高程面的高斯正投影 3° 带平面直角坐标系，或投影于 1985 国家高程基准的任意中央子午线高斯正投影平面直角坐标系，或投影于测区抵偿高程面的任意中央子午线高斯正投影较窄带宽平面直角坐标系；

3 桥梁控制测量和隧道控制测量，也可采用独立坐标系统，其高程投影面可分别采用相应的平均高程面。

1.0.4 高速铁路的高程系统应采用 1985 国家高程基准。当个别地段无 1985 国家高程基准的水准点时，可引用其他高程或以独立高程起算，但在全线高程测量接通后，应消除断高，换算成 1985 国家高程基准。有困难时亦应换算成全线统一的高程系统。

1.0.5 测量精度应以中误差衡量。极限误差(简称限差)规定为中误差的 2 倍。

1.0.6 高速铁路测量中的三角测量、导线测量等级和测角精度，应符合表 1.0.6 的规定。

表 1.0.6 三角测量、导线测量等级和测角精度(" )

测量等级	一	二	三	四	五
测角中误差	0.7	1.0	1.8	2.5	4.0

三角网(锁)的测角中误差应按下列式计算：

$$m = \sqrt{\frac{[WW]}{3n}} \quad (1.0.6-1)$$

式中  $W$ ——三角形角度闭合差(");

$n$ ——三角形个数。

导线环(段)的测角中误差应按下式计算:

$$m = \sqrt{\frac{1}{N} \left[ \frac{f_{\beta}^2}{n} \right]} \quad (1.0.6-2)$$

式中  $f_{\beta}$ ——导线环(段)的角度闭合差(");

$N$ ——导线环(段)的个数;

$n$ ——导线环(段)的角度个数。

1.0.7 水准测量等级和测量精度,应符合表 1.0.7 的规定。

表 1.0.7 水准测量等级和测量精度(mm)

水准测量等级	每千米水准测量偶然中误差 $M_{\Delta}$	限 差				
		检测已测段高差之差	往返测不符值	附和路线闭合差	环闭合差	左右路线高差不符值
二	$\leq 1.0$	$6\sqrt{R}$	$4\sqrt{R}$	$4\sqrt{L}$	$4\sqrt{F}$	——
三	$\leq 3.0$	$20\sqrt{R}$	$12\sqrt{R}$	$12\sqrt{L}$	$12\sqrt{F}$	$8\sqrt{R}$
四	$\leq 5.0$	$30\sqrt{R}$	$20\sqrt{R}$	$20\sqrt{L}$	$20\sqrt{F}$	$14\sqrt{R}$

注:表中  $R$  为测段长度,  $L$  为附和路线长度,  $F$  为环线长度,均以千米计。

各等级水准测量作业结束后,每条水准路线应以测段高差不符值,按下式计算每千米水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$ 。

$$M_{\Delta} = \sqrt{\frac{1}{4n} \left[ \frac{\Delta\Delta}{R} \right]} \quad (1.0.7)$$

式中  $\Delta$ ——测段高差不符值(mm);

$n$ ——测段数。

1.0.8 各等级光电测距仪的测距限差,应符合表 1.0.8 的规定。

表 1.0.8

测 距 限 差 (mm)

仪器精度等级	测距中误差	同一测回 各次读数互差	测回间读数较差	往返测平距较差
I	<5	5	7	2m <sub>D</sub>
II	5~10	10	15	
III	11~20	20	30	

注：m<sub>D</sub> 为标称精度。

1.0.9 用全球定位系统(GPS)测量时，应符合铁道部现行《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10054)的规定。用 GPS 测量加密国家大地点，代替三角网、导线网进行平面控制测量和用动态 GPS 测量进行线路中线测量时，其方向和长度应满足相应测量等级网角度和长度的精度要求。

1.0.10 测量记录、计算成果和图表，应书写清楚，签署完善，并应复核和检算，未经复核和检算的资料严禁使用。

各种测量原始记录(包括磁卡、电脑的记录)、计算成果和图表应妥善保存。

1.0.11 高速铁路测量工作必须认真贯彻安全生产的方针，结合各阶段工作的特点和具体情况，制订相应的安全生产措施。

1.0.12 各种测量仪器和工具应做好经常性的保养和维修工作，并定期检校和鉴定。

1.0.13 高速铁路工程测量除应符合本暂行规定外，尚应符合国家现行有关强制性标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 高速铁路

能够满足旅客列车最高运行速度大于 200km/h 的铁路。

#### 2.1.2 线路中线控制基桩

高速铁路主要工程竣工后，为控制线路中心位置测设在路肩上的永久基本桩。

### 2.2 主要符号

#### 2.2.1 总则

$m$ ——测角中误差

$W$ ——三角形角度闭合差

$f_{\beta}$ ——附和导线或闭合导线角度闭合差

$M_{\Delta}$ ——每千米水准测量的偶然中误差

#### 2.2.2 线路测量

$n$ ——置镜点数

$K$ ——相邻水准点间线路长度

$R$ ——地球平均曲率半径

#### 2.2.3 桥梁测量

$m_L$ ——桥轴线长度中误差

$\Delta_D$ ——墩中心点位放样限差

$N$ ——桥梁跨数

$\frac{m_L}{L}$ ——桥轴线长度相对中误差

#### 2.2.4 隧道测量

$m$ ——受洞外或洞内平面控制测量误差影响所产生在贯通面上的横向中误差



$m_{y\beta}$ ——由于测角误差影响所产生在贯通面上的横向中误差

$m_{yL}$ ——由于测边误差影响所产生在贯通面上的横向中误差

$R_x$ ——导线环在邻近隧道两洞口连线的一条侧边上的各点至贯通面的垂直距离

$d_y$ ——导线环在邻近隧道两洞口连线的一条侧边的各边在贯通面上的投影长度

### 3 线路测量

#### 3.1 GPS 测量

3.1.1 各级 GPS 测量作业的基本技术要求应符合表 3.1.1 的规定。

表 3.1.1 各级 GPS 测量作业的基本技术要求

项目 \ 级别		B	C	D	E
静态测量	卫星高度角( $^{\circ}$ )	$\geq 15$	$\geq 15$	$\geq 15$	$\geq 15$
	有效卫星总数	$\geq 5$	$\geq 4$	$\geq 4$	$\geq 4$
	时段中任一卫星有效观测时间(min)	$\geq 30$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 15$
	时段长度(min)	$\geq 90$	$\geq 60$	$\geq 45$	$\geq 45$
	观测时段数	$\geq 2$	1~2	1~2	1~2
	数据采样间隔(S)	15~60	15~60	15~60	15~60
	PDOP 或 GDOP	$\leq 6$	$\leq 8$	$\leq 10$	$\leq 10$
快速静态测量	卫星高度角( $^{\circ}$ )	—	—	$\geq 15$	$\geq 15$
	有效卫星总数	—	—	$\geq 5$	$\geq 4$
	观测时间(min)	—	—	5~20	5~20
	平均重复设站数	—	—	$\geq 1.5$	$\geq 1.5$
	数据采样间隔(S)	—	—	5~20	5~20
	PDOP(GDOP)	—	—	$\leq 7(8)$	$\leq 7(8)$

3.1.2 高速铁路线路测量，应首先利用 GPS 测量加密国家四等大地点，并满足下列要求：

1 GPS 测量加密的四等大地点，应选在沿线路方向离线路中线 100~200m、稳固可靠且不易被施工破坏的范围内，并每隔 5km 左右布设能置镜、互相通视的一对点，每对点间距离不宜小于 1km。

2 加密的四等大地点，应埋设混凝土桩，其标志规格和埋设深度应符合本暂行规定附录 A 的规定。GPS 测量应在混凝土桩稳(凝)固后进行。

3 加密四等大地点应按 D 级网的技术要求进行测量，构成由四边形或大地四

边形组成的带状网，并与不低于国家三等的大地点联测，其点位精度(方向、距离)不应低于国家四等大地点的规定。

3.1.3 高速铁路导线测量可采用 GPS 测量，并应满足下列要求：

1 GPS 测量的导线点应选在沿线路方向离线路中线 100~200m 稳固可靠且不易被施工破坏的范围内，点间距宜为 600~1000m，点位能置镜，相邻点应互相通视。

2 GPS 导线点应埋设混凝土桩，其标志规格和埋设深度应符合本暂行规定附录 A 的规定。GPS 测量应在混凝土桩稳(凝)固后进行。

3 GPS 导线应按 E 级网的技术要求进行测量，并与加密的四等大地点进行联测构成附合网，其点位精度(方向、距离)不应低于高速铁路五等导线测量的规定。

4 后继测绘或其他工作需要加桩时，可用单支点形式测定，钉设方桩及标志桩。

3.1.4 交点及控制桩测量可采用 GPS 测量。

GPS 测设的中线控制桩，间距宜为 200~400m，相邻点应互相通视。

中线控制桩可用动态 GPS 测量先行定点，并钉设方桩及标志桩，再进行静态测量，并与 GPS 导线点联测构成附合网，其点位精度应满足高速铁路线路中线控制桩贯通测量的要求。

3.1.5 线路中线测量可采用动态 GPS 测量。

## 3.2 导线测量

3.2.1 导线测量应在 GPS 测量加密国家大地点的基础上按五等规定精度进行。

3.2.2 导线点应选在离线路中线 100~200m，且不易被施工破坏的范围内，桩应稳固和易于长期保存。导线点的间距宜为 400~600m(困难时亦不得短于 200m)，地形平坦且视线清晰时，最大边长不宜大于 1000m，导线边长较短时其相邻边长之比不宜小于 1:3。导线点应埋设混凝土桩，其标志规格和埋设深度应符合本暂行规定附录 A 的规定。导线测量应在混凝土桩稳(凝)固后进行。

后继测绘或其他外业工作需要加桩时，只能增设一个支导线点，钉设

方桩及标志桩。

3.2.3 导线水平角应使用 DJ<sub>1</sub> 型或 DJ<sub>2</sub> 型经纬仪，或精度相当的全站仪，用全测回法或方向观测法测量右角 2 测回。当使用光学经纬仪观测时，2 测回间应变动度盘位置。同一测回的 2 个半测回间角值较差的限差和不同测回间角值较差的限差，应符合表 3.2.3 的规定。在限差以内时，水平角角值取用 2 测回的平均值。

表 3.2.3 水平角角值较差的限差(″)

仪器型号	光学测微器 2 次重合读数之差	同一测回的 2 个半测回间角值较差 的限差或各测回同方向 2 倍视轴差 (2C)的互差	不同测回间角值较差 的限差或各测回同 方向值互差
DJ <sub>1</sub>	1	9	6
DJ <sub>2</sub>	3	13	10

3.2.4 导线边长采用 I 级或 II 级测距精度的全站仪或光电测距仪测量，读数至毫米。

3.2.5 全站仪、光电测距仪使用时，应符合本暂行规定附录 B 的规定。

经纬仪、全站仪、光电测距仪在使用前，必须进行检校并符合下列规定：

1 经纬仪

1) 照准部旋转时，各位置气泡读数互差：DJ<sub>1</sub> 型仪器不应超过 2 格(按两端气泡读数之和比较为 4 格)；DJ<sub>2</sub> 型仪器不应超过 1 格(按两端气泡读数之和比较为 2 格)。

2) 光学测微器行差：DJ<sub>1</sub> 型仪器不应超过 1″；DJ<sub>2</sub> 型仪器不应超过 2″。

3) 照准部旋转时仪器底座位移而产生的系统误差：DJ<sub>1</sub> 型仪器不应超过 0.3″；DJ<sub>2</sub> 型仪器不应超过 1.0″。

4) 水平轴不垂直于垂直轴之差的绝对值：DJ<sub>1</sub> 型仪器不应超过 10″；DJ<sub>2</sub> 型仪器不应超过 15″。

5) 经纬仪 2 倍视轴差(2C)的绝对值：DJ<sub>1</sub> 型仪器不应超过 20″；DJ<sub>2</sub> 型仪器不应超过 30″。

6) 光学对中器旋转 180° 时，先后标定的 2 点应重合。

2 光电测距仪(含全站仪)

- 1) 测尺频率的校正精度应高于  $1 \times 10^{-6}$ 。
- 2) 发射、接收、照准三轴之间应平行或重合。
- 3) 周期误差的振幅不应大于仪器标称精度中固定误差的 0.6 倍，检定中误差不应大于 0.5mm。
- 4) 加常数的检定中误差不应大于仪器标称精度中固定误差的 0.5 倍；乘常数的检定中误差不应大于仪器标称精度中比例误差系数的 0.75 倍。

3.2.6 全站仪、光电测距仪测距时，距离和竖直角应往返各观测 2 测回。各项限差应满足表 3.2.6 的要求。

表 3.2.6 距离和竖直角观测限差

测距仪 精度等级	测距中误差 (mm)	同一侧回各 次读数互差 (mm)	测回间读数 互差(mm)	竖直角指标 差较差(" )	竖直角测回 间较差(" )	往返测平距 较差(mm)
I	<5	5	7	10	10	2m <sub>D</sub>
II	5~10	10	15			

注：m<sub>D</sub> 为仪器标称精度。

1 观测的斜距应加仪器常数改正和气象改正。

记录气象条件的最小读数：气压读至 1mmHg(133.322Pa)；气温读至 0.5℃。一般可在测站进行测记。当测边两端气象条件差异较大时，应在测站和反射镜站分别测记。当测区平坦，气象条件差异不大时，也可记录上午和下午的平均气压、气温。当使用全站仪时，也可将气象条件输入仪器，让仪器自动进行气象改正。

气象改正值的计算：

1)标准大气条件下(t=0℃，P=101325Pa,e=0Pa)光的群折射率 ng 为

$$ng = 1 + (287.604 + \frac{3 \times 1.6288}{\lambda^2} + \frac{5 \times 0.0136}{\lambda^4}) \times 10^{-6} \quad (3.2.6-1)$$

式中  $\lambda$  ——真空中光波的有效波长，即测距仪的载波波长。TC1610 为 0.85 μm。

2)作业时气象条件下的实际群折射率 n 为

$$n = 1 + \frac{(ng - 1) \times P}{(1 + \alpha t) \times 101325} - \frac{5.5 \times 10^{-8}}{1 + \alpha t} \bullet e \quad (3.2.6-2)$$

式中  $\alpha$  ——空气膨胀系数,  $\alpha = 1/273.16$ ;

$P$ ——大气压力(Pa);

$e$ ——水蒸气压力(Pa), 可忽略不计;

$t$ ——作业时温度(°C)。

3)仪器基准折射率  $n_0$ , 是以仪器设计时采用的某一气象条件( $P_0$ 、 $t_0$ )计算的大气折射率。其值为

$$n_0 = 1 + \frac{(ng-1) \cdot P_0}{(1 + \alpha t_0) \times 101325} \quad (3.2.6-3)$$

4)气象改正值为

$$\Delta D = (n_0 - n) \cdot D \times 10^{-6} \quad (3.2.6-4)$$

式中  $D$ ——测量斜距长(m)。

2 改正后的斜距应按下列公式计算:

1)换算为水平距离

$$S = D \cdot \sin Z \quad (3.2.6-5)$$

式中  $S$ ——水平距离(m);

$D$ ——改正后的斜距(m);

$Z$ ——天顶距。

2)往返测的水平距离必须分别归算到同一高程面上, 再进行比较。

$$S_0 = S \left( 1 - \frac{H - H_0}{R} \right) \quad (3.2.6-6)$$

式中  $S_0$ ——线路平均高程面上的平距(m);

$S$ ——反射镜高程面上的平距(m);

$H$ ——反射镜站高程(m);

$H_0$ ——线路平均高程(m);

$R$ ——地球平均曲率半径, 采用 6371000m。

当往返测平距较差在表 3.2.6 允许范围时, 边长采用往返测平均值。

3.2.7 导线的起终点及每隔 5km 左右应与国家大地点(三角点、导线点)或其他不低于四等的大地点、GPS 点联测, 联测方法一般采用附和导线法, 困难时可采用三角形法等。

3.2.8 导线测量限差应符合表 3.2.8 的规定。

表 3.2.8

导 线 测 量 限 差

水 平 角	检测较差(")		15
	闭合差(")		$10\sqrt{n}$
长 度	检测较差(mm)		$2\sqrt{2} m_D$
	水平角未平差的相对 闭合差	4km	1/12000
		5km	1/10000
	水平角平差后的相对 闭合差	4km	1/24000
		5km	1/20000

注：n 为置镜点数， $m_D$  为仪器标称精度。

3.2.9 支导线点可用 1 测回测设，并在下一导线置镜点返测校核。其点位误差与支导线全长的比值不应大于 1/10000。

### 3.3 初测高程测量

3.3.1 水准点高程测量应与国家三等或三等以上水准点，或者相当于国家三等或三等以上水准点联测，一般 30km 宜联测一次，困难条件下，不应大于 80km 联测一次，形成附合水准路线。

高速铁路起终点或联络线，与另一铁路连接时，应确定两铁路高程系统的关系。

3.3.2 水准点应沿线路布设，一般地段每隔 2km 设一个，重点工程(大桥、长隧)地段应根据实际情况增设水准点。

水准点可与 GPS 点、导线点等控制点共用，也可单独设置。单独设置水准点一般距线路中线宜为 100~150m。

水准点应选在土质坚实，安全僻静，观测方便和利于长期保存的地方埋设。

水准点的埋石和式样应符合本暂行规定附录 A 的规定。

3.3.3 水准点高程测量应符合本暂行规定表 1.0.7 所列四等水准测量的要求。根据地形情况，在平原地区可采用水准测量，在山岳、丘陵地区可采用光电测距三角高程测量方法。水准点高程取位至毫米。

3.3.4 水准测量应符合下列规定：

1 水准测量应使用精度不低于  $DS_3$  型的仪器，水准标尺应用整体式双面标尺。水准仪与水准标尺在使用前，必须检校，并应符合下列规定：

1) 水准仪视准轴与水准管轴在竖直面上的夹角( $i$  角)不应超过  $20''$ 。

2) 水准仪光学测微器的效用应正确，其分划值的平均值与名义值不应超过  $0.001\text{mm}$ 。

3) 水准标尺的圆水准器气泡，当水准标尺位于垂直位置时应居中。

4) 水准标尺分划面弯曲差(矢距)，对于线条式因瓦水准标尺不得超过  $4\text{mm}$ ，对于区格式水准标尺不得超过  $8\text{mm}$ 。

5) 水准标尺米间隔真长与名义长之差，对于线条式因瓦水准标尺不得超过  $0.15\text{mm}$ ，对于区格式水准标尺不得超过  $0.5\text{mm}$ 。

6) 区格式水准标尺分米分划误差不得超过  $1.0\text{mm}$ 。

2 水准测量应采用中丝读数法，可采用 1 组往返或 2 组单程进行。往返测(或 2 组单程)高差不符值，在限差以内时采用平均值。

3 水准测量应采用尺台作转点尺承，观测应在标尺分划成像清晰稳定时进行。若成像欠佳，应酌情缩短视线长度。测站的视线长度、视线高度应按表 3.3.4-1 执行。

表 3.3.4-1 视线长度、高度(m)

等级	视线长度		前后视距差	前后视距累计差	视线高度
	仪器类型	视距			
四等	$DS_3$ 、 $DS_1$	$\leq 150$	$\leq 3.0$	$\leq 10$	$\geq 0.3$

4 水准测量测站观测顺序为：

后视(黑面)并记录视距，前视(黑面)并记录视距，前视(红面)，后视(红面)或后视(黑面)并记录视距，后视(红面)，前视(黑面)并记录视距，前视(红面)。

当使用光学测微仪器和线条式因瓦水准标尺观测时，后视、前视可只读基本分划，进行两次照准读数代替基本、辅助读数。

测站观测读数限差应按表 3.3.4-2 执行。



表 3.3.4-2

测站读数观测限差(mm)

等级	黑红面读数之差	黑红面观测高差之差	左右路线转点差	检测间歇点高差之差
四	3	5	4	5

因测站观测误差超限，在本站检查发现后，应立即重测。若迁站后发现，则应从水准点或经检测符合限差的间歇点起始，重新观测。

5 线路跨越江河、深沟，其视线长度超过表 3.3.4-1 规定，在 200m 以内时可用一般方法进行观测，但在测站上应变换 1 次仪器高度，观测 2 次。2 次高差之差不应超过 7mm，成果取用 2 次高差的中数。

线路跨越江河、深沟其视线长度大于 200m 时，应根据跨河宽度和仪器设备情况，选用四等跨河水准测量方法和精度施测，或采用光电测距三角高程测量方法施测。

跨河水准测量方法及其适用范围和观测测回数、限差的规定，应按表 3.3.4-3 执行。

表 3.3.4-3

跨河水准测量观测测回数、限差

序号	观测方法	最大视线长度 S (km)	单测回数	半测回观测组数	测回高差互差(mm)	备注
1	直接读尺法	0.3	2	1	16	测量方法见 GB12898
2	微动觇版法	1.0	4	1	50S	
3	测距三角高程法	2.0	8	3	$40\sqrt{S}$	测量方法见 GB12897

6 工作间歇宜在水准点上。否则，应选择 2 个可靠固定点作为间歇点，并作出标记。间歇后工作、应先检测，当 2 个固定点高差的差数小于表 3.3.4-2 规定时，可继续观测。否则，必须从前一水准点起测。

7 成果的重测与取舍应符合下列要求：

1) 凡超出规定限差均应进行重测。

2) 往返测高差不符值超限时，应先对可靠性较小的往测或返测进行整段重测。

3) 2 组单程观测高差不符值超限时，可重测 1 单程，并与原测结果中符合限差的 1 个单程取中数作为采用值；如重测结果与原测 2 个单程均符合

限差要求，则取 3 个单程结果的中数作为采用值；当重测结果与原测 2 个单程结果都超限时，应分析原因，再重测 2 个单程，达到符合要求为止。

4)由往返测(或 2 组单程观测)高差不符值计算的每千米水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$  超限时，应分析原因，重测测段高差不符值较大的测段，以达到符合要求为止。

### 3.3.5 在山岳、丘陵地区采用光电测距三角高程测量应符合下列要求：

1 光电测距三角高程测量，可与平面导线测量合并进行。水准点的设置要求、闭合限差及检测限差应符合本暂行规定第 3.3.2 条和第 1.0.7 条的规定。

2 导线点应作为高程转点。高程转点间的距离和竖直角必须往返观测，并宜在同一气象条件下完成。计算时应加入气象改正和地球曲率改正。  
2 水准点间高差采用往返观测平均值。

1)测距时应采用不低于 II 级精度的测距仪，必须进行往返各 2 个测回，距离取位至毫米，并应符合本暂行规定表 1.0.8 的规定。

2)在山区和水域地段测距时，应在测程的两端同时测定气温，读至  $0.5^{\circ}\text{C}$ ，并在斜距中加入气象改正；平坦地区测程两端可不测定气温，但必须测定在一个作业时间(上午或下午)内的平均气温。

3)竖直角测量可采用中丝法，往返必须各 3 个测回，并应符合表 3.3.5 的规定。

表 3.3.5 水准点光电测距三角高程测量技术要求

距离测回数	竖 直 角				往返测高差 较差(mm)	边长范围 (m)
	测回数 (中丝法)	最大角值 ( $^{\circ}$ )	测回间较差 ( $''$ )	指标差互差 ( $''$ )		
往返各 2 测回	往返各 3 测回	15	5	5	$40\sqrt{D}$	200~700

注：D 为光电测距边长度，以千米计。

3 前后视的棱镜应安置在支架上。仪器高、棱镜高应在测距前和测角后分别量测 1 次，取位至毫米。2 次量测的较差不大于 2mm 时，取用平均值。当 2 次量测的较差大于 2mm 时，应重新观测该测站成果。

4 高程测量视线离地面或障碍物的距离不宜小于 1.5m。

5 当往返测高差较差大于  $40\sqrt{D}$  时，必须往返重测 1 组，重测与原测 2 组高差之差小于  $20\sqrt{D}$  时，其结果取用 2 组高差的中数。

3.3.6 加桩(中桩)光电测距三角高程测量应符合下列要求：

- 1 加桩高程测量可与水准点光电测距三角高程测量同时进行。
- 2 单独进行加桩光电测距三角高程测量时，其高程路线必须起闭于水准点，并符合加桩水准测量的闭合限差和检测限差要求。高程转点间的竖直角可用中丝法往返各观测一测回，并应符合本暂行规定第 3.3.5 条第 2、3 款的规定。
- 3 加桩高程测量的距离和竖直角，可单向正镜观测 2 次，2 次之间应改变棱镜高度，棱镜不能改变高度时，也可单向观测 1 测回。2 次或半测回间高差之差在限差以内时取平均值。
- 4 加桩光电测距三角高程测量应符合本暂行规定表 1.0.8 及表 3.3.6 的规定。

表 3.3.6 加桩光电测距三角高程测量技术要求

类别	距离测回数	竖 直 角			半测回或 2 次 高差较差 (mm)
		最大竖直角 (°)	测回数	半测回较差 (")	
高程转点	往返各 1 测回	30	中丝法往返 各 1 测回	12	
加桩	单向 1 测回	40	单向 2 次		100
			单向 1 测回	30	

3.3.7 加桩(中桩)水准测量应符合下列要求：

- 1 加桩水准测量采用单程水准测量，水准路线应起闭于水准点。导线点应作为转点。水准转点高程取位至毫米，加桩取位至厘米。
- 2 加桩水准测量应使用精度不低于原  $S_{10}$  级的水准仪。

3.3.8 一般三角高程测量应符合下列要求：

- 1 在困难地段加桩高程测量也可采用一般三角高程测量，其三角高程路线应分段起闭于具有水准高程的导线点，每段长度不宜大于 2km，但在隧道顶的分段长度可增至 7km。
- 2 采用一般三角高程测量时，转点间的竖直角应正倒镜往返观测 1 测回。其较差在限差以内时取平均值。其观测要求应符合表 3.3.8 的规定。

表 3.3.8

一般三角高程测量观测要求

仪器型号	竖直角 2 半测回间 角值较差的限差	往返观测高差 较差的中误差	竖直角角值取位
DJ <sub>2</sub>	30″	0.02S	1″
DJ <sub>6</sub>	1′	0.04S	0.1′

注：S 为边长，以百米计。

3.3.9 高程测量的各项限差应符合表 3.3.9 的规定。

表 3.3.9

高程测量限差(mm)

项 目			往返测高差 不符值	附和路线 闭合差	检 测
水准点	水准测量		$20\sqrt{K}$ (左右路线 $14\sqrt{R}$ )	$20\sqrt{L}$	$20\sqrt{K}$
	光电测距三角高程测量		$40\sqrt{D}$	$20\sqrt{L}$	$30\sqrt{K}$
加桩(中桩)	水准测量			$50\sqrt{L}$	100
	光电测距三角高程测量			$50\sqrt{L}$	100
	一般三角 高程测量	困难地段		300	150
		隧道顶		800	400

注：K 为相邻水准点间线路长，D 为边长，L 为附和路线长度，R 为测段长，均以千米计。

## 3.4 地形测量

3.4.1 地形图的基本等高距应符合表 3.4.1 的规定。

表 3.4.1

地形图等高距

基本等高距 (m) 地形等级	比例尺				
	1 : 500	1 : 1000	1 : 2000	1 : 5000	1 : 10000
I 地面横坡 1 : 5 以下	0.5	1	1	2	5
II 地面横坡 1 : 5 ~ 1 : 3	0.5、1	1	1、2	2	5
III 地面横坡 1 : 3 ~ 1 : 1.5	1	1、2	2	5	10
IV 地面横坡 1 : 1.5 以上	1	2	2	5	10

注：同一测区的同一种比例尺地形图，宜采用同一种基本等高距。

3.4.2 地形图的图例符号和图样画法应符合铁道部现行《铁路工程制图图形符号标准》(TB/T10059)和《铁路工程制图标准》(TB/T10058)的规定。

3.4.3 地形点的分布及密度，应能反映地形、地貌的真实情况，满足正确插入等高线的需要。在图上的点间距：当地面横坡陡于 1 : 3 时，不宜大于 15mm；地面横坡为 1 : 3 及以下时，不宜大于 20mm。地形点的高程取至分米。

3.4.4 地物点在图上的点位中误差：当测图比例尺为 1 : 500 ~ 1 : 2000 时不应大于 1.6mm；测图比例尺为 1 : 5000 ~ 1 : 10000 时，不应大于 0.8mm。

3.4.5 观测地形点时，竖直角不应大于 30°，观测距离应符合表 3.4.5 的规定。

表 3.4.5

最大观测距离(m)

测图比例尺	竖直角 < 12°	竖直角 ≥ 12°
1 : 500	100	80
1 : 1000	200	150
1 : 2000	350	300
1 : 5000	400	350
1 : 10000	600	600

3.4.6 地形测量宜以导线点作测站，必要时，可设置独立地形转点。在地貌、地物复杂处，设置独立地形转点不能测出少量隐蔽地形时，可连续设

置第二个地形转点。地形转点应作记录。

地形转点可用光电导线法亦可用经纬仪视距法或交会法测设，用正切法上点。从导线点上设置独立地形转点，不再连续设置第二个地形转点时，可直接点绘地形转点。

测设地形转点时，其竖直角不应大于  $25^\circ$ ，距离不应大于本暂行规定表 3.4.5 规定的观测距离的  $2/3$ 。当用交会法测设地形转点时，距离可不受上述限制。但交会角不应小于  $30^\circ$  并不应大于  $150^\circ$ 。

当用全站仪数字化测图时，本条规定可适当放宽。但视距长度不宜大于 700m。

地形转点应用正倒镜往返观测，其不符值在限差以内时取平均值。正倒镜往返测不符值限差规定为：

水平角： $2'$

距 离： $\frac{S}{200}$  (S 为边长，以米计)

竖直角： $2'$

高 差： $\frac{S}{500}$  (S 为边长，以米计)

3.4.7 在测站上作业前，应核对后视点的距离和高程，并应重测前站所测的明显地物点或数个测点进行检查。观测时间较长及移站前均应检查后视方向。

3.4.8 地形图的测绘方法及要求应符合下列要求：

1 各种比例尺的地形测绘可采用全站仪数字化测图法，经纬仪视距法、平板仪测量法、经纬仪和小平板联合测量法及其他能达到本暂行规定基本精度要求的测绘方法。

2 仪器的设置及测站上的检查应符合下列要求：

1)仪器对中偏差：平板仪不应大于图上的 0.05mm；经纬仪按一般要求对中。

2)以较远的一点标定方向，其他点进行检核。平板仪测绘时检核偏差不应大于图上的 0.3mm，经纬仪测图时归零差不应大于  $4'$ 。

3)采用经纬仪配量角器测图。当定向边长在图上小于 10cm 时，应延长

定向边长。

3 在测绘地物、地貌时，必须遵守“看不清不绘”的原则。地形图上的线划、符号和注记应在现场完成。

#### 3.4.9 全站仪数字化测图应符合下列规定：

##### 1 野外数据采集要求：

1)仪器对中误差不得大于 5mm。

2)数据采集开始前和结束后，应对后视点的距离和高程进行检核，距离较差不得大于  $0.1 \times \text{测图比例尺分母} \times 10^{-3}(\text{m})$ ，高程较差不得大于 1/6 基本等高距。检测结果超限时，本站已测的碎部点必须重测。

3)仪器高和棱镜高应量至厘米。施测地物点时，若棱镜偏离地物点大于 5cm，应加偏心改正。

4)数据采集编码宜采用“地形码+信息码”的形式，且可采用国家现行《1：500、1：1000、1：2000 地形图要素分类与代码》(GB14804)规定的标准编码。

5)每站应绘制草图。草图上标注的测点编号应与仪器记录的测点编号一致；测点的地形码应与草图绘制的符号对应；地形图上需注记的各种名称、地物属性、相互关系等，草图上必须标记正确、清楚；绘制等高线的地形点在草图上应连成地性线。

6)一天或一阶段采集工作完成后，应对照草图检查所采集的数据。发现矛盾，应按实地情况修改草图或修改数据记录中的测点编号、地形码和信息码，严禁修改记录中的观测数据，但必须删除作废记录和补充实测时来不及记录的调绘点的数据。

7)检查修改后的数据应及时存盘和备份。

##### 2 数据处理和图形编辑规定：

1)野外数据经计算机解码、分流、平差和处理后，应生成控制点坐标文件、碎部点文件和图形文件。

2)图形文件中的数据应分层存放。分层可按表 3.4.9 的规定选定。

表 3.4.9

数 据 分 层

层 名	层 号
测量控制点	1
居民地	2
工矿建筑物	3
交 通	4
管 线	5
水 系	6
境 界	7
地 形	8
植 被	9
注 记	10

3)图形编辑应根据编辑样图和草图,按照国家现行《1:500、1:1000、1:2000 地形图图式》(GB7929)和本暂行规定第 3.4.10 条的规定确定修改和增删内容,进行分层编辑和相关层编辑。

4)数据文件格式可根据单位内部数字化测图的方便,灵活选定。也可按国家现行《大比例尺地形图机助制图规范》(GB14912)的规定执行。

3.4.10 地形测绘的内容应符合下列要求:

- 1 三角点、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。当距离线路较远,定线不可能穿过密集的建筑物时,可只绘出总外廓。
- 3 省、县、乡等行政区划界线。
- 4 树林、竹园、果园、菜园、稻田、旱地、荒地、苗圃等各种植被及其他地类界。
- 5 铁路、公路、大车路、小路并注明去向,铁路、公路并应注明公里标的位置及里程。
- 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 明显的不良地质分界线和坟地范围(注明座数)。

9 村镇名称、地名及国家规定的文物保护单位。

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。

11 使用航测地形图时，应按上述内容进行现场核对、修正，必要时应进行现场补测。

3.4.11 等高线高程中误差应符合表 3.4.11 的规定。

检查时高程中误差应按下列公式计算：

当用高精度方法检查时

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum \Delta_h^2}{n}} \quad (3.4.11-1)$$

当用同等精度方法检查时

$$m_h = \sqrt{\frac{\sum \Delta_{1h}^2}{2n}} \quad (3.4.11-2)$$

表 3.4.11 等高线高程中误差(m)

测图比例尺	垂直于等高线的地面横坡			
	1：5 以下	1：5~1：3	1：3~1：1.5	1：1.5~1：1
1：500	0.25	0.5	0.75	1.0
1：1000	0.5	0.75	1.0	1.5
1：2000	0.75	1.5	2.0	3.0
1：5000	1.0	2.0	3.0	5.0
1：10000	2.0	4.0	6.0	10.0

注：森林隐蔽等特殊困难地区可按本表规定值的 1.5 倍计。

式中  $m_h$ ——检查时高程中误差(m)；

$\Delta_h$ ——高精度检查点的高程与图上内插高程之差(m)；

$\Delta_{1h}$ ——同精度检查点的高程与图上内插高程之差(m)；

$n$ ——同一地面横坡的检查点数。

### 3.5 交点及控制桩测量

3.5.1 定测放线应根据初测 GPS 点、导线点或其他等级相当的大地点，采用极坐标法进行放设测量。

3.5.2 直线上的转点、曲线上的交点或副交点、直缓、缓圆、曲中、圆缓、缓直及加密点等控制桩的测设，宜使用 I 级测距精度的全站仪、光电测距仪直接观测定点，并钉设方桩及标志桩，最后对测点应观测两测回，取平均值，计算测点实测坐标，以便中线加桩测量。

3.5.3 控制桩应从导线(或 GPS)点直接测设，特殊困难情况下不能通视时，可以从导线(或 GPS)点上转 1 站(转点要返测)，并观测 2 测回测设。

3.5.4 控制桩测设的水平角角值较差应符合本暂行规定表 3.2.3 规定，距离和竖直角各项限差应符合本暂行规定表 3.2.6 要求。

3.5.5 控制桩间应通视，困难情况下应单向通视。控制桩间距离宜为 200～400m，困难时，亦不得短于 100m，并应设在便于置镜和中线测量的地方。

3.5.6 控制桩应作贯通测量，并应与导线(或 GPS)点在不大于 5km 范围内进行联测，联测时后视不得取用短边。水平角采用全测回法测量右角，观测一测回，当使用光学经纬仪时，2 个半测回间应改变水平角方向值，2 个半测回间角值较差的限差为 15"。边长测量可用 I 级或 II 级测距精度全站仪或光电测距仪进行；距离和竖直角应往返各观测 1 测回，距离 1 测回读数 2 次，距离和竖直角的测量限差应符合本暂行规定表 3.2.6 的规定，在限差以内时取平均值；边长采用往测平距，返测仅共校核。

3.5.7 控制桩贯通测量闭合差的限差应符合下列规定：

水平角闭合差： $f_{\beta} \leq 15\sqrt{n} (")$ ，n 为测角个数；

距离相对闭合差： $\Delta L/L \leq 1/15000$ (水平角平差)。

3.5.8 控制桩贯通联测后，应逐一根据测设时的各桩坐标计算前视点联测坐标，并与测放时的各桩坐标相比较，两者的点位误差的限差每百米不应超过 1 厘米，在限差以内时采用测放的桩位坐标，超过限差时，应重测并查明原因。

3.5.9 交点、副交点和中线上的控制方桩，一般应固桩。固桩要求应符合铁道部现行《新建铁路工程测量规范》(TB10101)附录 A 规定。

## 3.6 中线测量

3.6.1 高速铁路引入既有线接轨站应注明里程关系。

3.6.2 中线上应钉设公里桩和加桩，并宜钉设百米桩。当与中线控制桩贯通测量合并进行时，应先进行控制桩贯通测量。直线上中桩间距不宜大于 50m；曲线上中桩间距宜为 20m。如地形平坦，圆曲线内的中桩间距可为 40m。圆曲线内的中桩里程宜为 20m 的整倍数。在地形变化处或根据设计需要，应另设加桩，加桩一般设在就近整米处。

3.6.3 高速铁路定测中线，在左右线并行时，应以左线钉设桩橛，并标注贯通里程。在绕行地段，两线可分别钉桩，并分别标注左右线里程。

3.6.4 直线上转点控制桩贯通测量中，当水平角为  $180^{\circ} \pm 15''$  以内时，可视为直线，也可用经纬仪定向、钢卷尺拉链，按控制桩分段加桩。

中桩点位误差的限差，纵向应为  $\frac{S}{2000} + 0.1$  (S 为转点至桩位的距离，以米计)，横向应为 10cm。

3.6.5 曲线测设可采用任意点置镜极坐标法或偏角法。

测设曲线中桩需要另行设置转点时，应用 2 测回定点，并钉设转点方桩。当转移置镜点多于 1 个时，应与曲线控制桩闭合，其闭合点位误差的限差不应超过 5cm。

采用偏角法测设曲线中桩时，应与曲线控制桩闭合，其闭合差的限差，纵向应为  $\frac{1}{2000}$ ，横向应为 10cm。

### 3.7 定测高程测量

3.7.1 定测时应对初测水准点逐一进行检测，其不符值在  $30\sqrt{K}$  以内时，采用初测成果。当超出限差应在确认初测水准点有误时，方能更改。当系附合水准，则应在附合路线范围内重新平差。

3.7.2 长度在 300m 以上的桥梁、500m 以上的隧道和大型车站的两端及其范围内，均应设置适当密度的水准点。初测设置的水准点间距太长、远离线路或离线路太近易被施工破坏时，应予增设或迁移，并与邻近水准点闭

合。新设水准点应符合本暂行规定第 3.3 节的有关规定。

3.7.3 中桩高程测量应起闭于水准点，其闭合限差应为  $50\sqrt{L}$ 。中桩高程应观测 2 次，其不符值不应大于 10cm，取位至厘米。

中桩高程可采用光电测距三角高程测量，各项要求和限差应符合本暂行规定第 3.3.6 条的规定。

隧道顶和个别深沟的中桩高程，亦可采用一般三角高程测量，其要求和限差应符合本暂行规定第 3.3.8 条的规定。

### 3.8 横断面测量

3.8.1 横断面施测宽度和密度，应根据地形、地质情况和设计需要确定。宜在曲线控制桩、百米桩和线路纵、横向地形明显变化处测绘横断面。在大中桥头、隧道洞口、挡土墙等重点工程地段及不良地质地段，横断面应适当加密。

3.8.2 横断面测量可采用水准仪绳尺法、经纬仪绳尺法、光电测距仪法。

3.8.3 横断面图纵、横向比例尺应采用 1:200。地面线应在现场点绘；当采用光电测距仪法，测量数据自动记录时，亦可室内绘图。

3.8.4 横断面测量的检测限差，应按下列公式计算：

高程  $0.1(L/100+h/10)+0.2(m)$ ；

距离  $L/100+0.1(m)$ 。

式中  $h$ —检测点至线路中桩的高差(m)；

$L$ —检测点至线路中桩的水平距离(m)。

### 3.9 施工复测

3.9.1 施工复测前，施工单位应检查线路测量的有关图表资料，会同设计单位进行现场桩橛交接。

桩橛包括 GPS 点、导线点、水准点以及直线和曲线上的控制点等。

在施工复测时，应对全线 GPS 点的坐标、导线点的右角、导线点间的

距离，以及水准点的高程进行全面复测。

3.9.2 GPS 点的施工复测应按铁道部现行《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10084)和本暂行规定第 1.0.9 条执行。

3.9.3 导线点、水准点施工复测的精度和要求应符合本暂行规定第 3.2 节、第 3.3 节的规定，导线测量采用五等，水准测量采用四等。当复测结果与设计单位提供的勘测成果不符时，必须重新复测。当确认设计单位勘测资料有误或精度不符合规定要求时，则应与设计单位协商对勘测成果进行改正。复测结果与设计单位勘测成果的不符值在下列规定范围内时，可采用设计单位勘测成果。

水平角 检测较差  $15''$  ；

闭合差  $10\sqrt{n}''$  。

距离 导线边长  $2\sqrt{2}m_D$ (同一高程面)；

相对闭合差  $1/10000$ (角度未平差)；

水准点  $30\sqrt{K}$  。

3.9.4 导线点和水准点施工复测的仪器、工具，应符合本暂行规定第 3.2 节和第 3.3 节的有关规定。

3.9.5 需要移设或增设导线点、水准点时，其点位设置、测量方法以及精度要求，应符合本暂行规定第 3.2 节、第 3.3 节的有关规定。

3.9.6 中线上的直线控制点、曲线交点或副交点、直缓、缓圆、曲中、圆缓、缓直等桩橛，以及中线加桩，均应按本暂行规定第 3.5 节和第 3.6 节的要求，重新测设或复测。并可在施工前设置护桩，护桩应固桩。固桩的要求应符合铁道部现行《新建铁路工程测量规范》(TB10101)附录 A 的规定。

3.9.7 中线上重新设置的桩橛以及中线加桩，应按本暂行规定第 3.7 节的要求施测中桩高程。

3.9.8 线路横断面复测时，横断面的间距应根据地形情况和控制土石方数量的需要确定，填挖零点断面必须测绘。测绘的精度和要求应符合本暂行规定第 3.7 节的规定。

3.9.9 施工取土坑、弃土堆、施工便道和附属工程所占用的农田，应进行实地调查测绘，并应标记农田类别(水田、旱地、果园、菜地等)及所属乡或村的分界线。

3.9.10 施工需要拆迁的建筑物，应进行实地调绘，并列表填写建筑物类别、数量及所属单位等。建筑物面积可用皮尺丈量。

### 3.10 施工放样

3.10.1 线路路基施工放样的边桩可根据地形的难易情况，采用断面法或逐渐接近法测设，并应在施工范围以外设置方向控制桩 1~2 个，测设边桩的限差为 1/200。

3.10.2 挡土墙、护坡等工程的施工放样，应符合设计要求。结构尺寸误差、基底及顶部高程误差均不应大于 5cm。

### 3.11 竣工测量

3.11.1 竣工测量应进行线路中线外移控制基桩测量、高程测量和横断面测量，并贯通全线的里程和高程。

3.11.2 线路中线控制基桩，可按每 200m 设置一个，曲线上的直缓、缓圆、曲中、圆缓、缓直各增设一个。线路中线控制基桩距线路中线的外移距离一般为 3~4m，线路中线控制基桩应设置混凝土桩，并符合本暂行规定附录 A 的规定。

3.11.3 线路中线控制基桩，在直线部分宜设在下行线左侧路肩上，曲线部分宜按上、下行线分别设置。在一条线路上线路基桩的外移距离宜相等；如遇障碍物，外移距离可适当增减，但增减值应相等。

3.11.4 线路中线控制基桩的测设，应按导线点、GPS 点，采用极坐标法，按线路中线法线方向点施测。其要求应符合本暂行规定第 3.5 节的规定。

3.11.5 线路中线控制基桩测设后，应进行中线贯通测量。贯通测量后，线路、桥梁、隧道的中线应相符合，其位置应满足路基宽度和桥梁、隧道等建筑限界的要求。

3.11.6 线路中线贯通测量的加桩设置，应满足编制竣工文件的需要。曲线起终点、道岔中心、变坡点、竖曲线起终点、立交道中心、桥涵中心、大中桥台前及台尾、隧道进出口、隧道内断面变化处、车站中心、支挡工程的起终点和中间变化点、道碴厚度变化点、跨越线路的电力线、通信线和地下管线中心等处均应设置加桩。

3.11.7 线路中线贯通测量的方法和精度要求，应符合本暂行规定第 3.5 节～第 3.7 节的有关规定。但路基高程误差和曲线横向闭合差，均不应大于 5cm。

3.11.8 高程竣工测量时，应将水准点(含施工增设的水准点)按原测设精度移设于接近线路的稳固建筑物或岩石上(如桥台或涵洞的帽石上)。如无上述条件时，可结合线路中线控制基桩埋设永久性混凝土水准点，其设置应符合本暂行规定附录 A 的规定。水准点应每隔 1~2km 设置一个，并应绘制水准点布设平面草图及描述其位置。

3.11.9 横断面竣工测量时，路基宽度不得小于设计宽度；侧沟、天沟的深度、宽度与设计值之差不得大于 5cm；路堤护道宽度与设计值之差不得大于 10cm。对不符合要求且误差超限者应进行修整。

3.11.10 区间线路应贯通封闭。在路堤坡脚外 1m(有护道时为护道外 1m，设排水沟时为排水沟外 1m)及路堑顶外 1m(有天沟时为天沟外 1m)处设置防护屏障，且封闭至桥台锥体护坡或隧道洞门端墙。并在每隔 500 米处设置“严禁入内”标志。

在综合维修基地(工区)及车站等处、应设置维修设备进、出口。

3.11.11 根据用地界宽度埋设地界桩。在直线上每 200m、曲线上每 40m、缓和曲线起终点及地界宽度变化处的两侧用地界上均应埋设地界桩。

## 3.12 测绘成果计算及整理

3.12.1 采用附和导线计算长度相对闭合差时，应将导线的坐标增量和，首先改化至相应的投影面(大地水准面、测区抵偿高程面)，再改化至高斯平面后，计算坐标闭合差。两次改化后的坐标增量和，应按下列公式计算：

$$\Sigma \Delta X_s = \Sigma \Delta X + (Y_m^2 / 2R^2 - H_m / R) \Sigma \Delta X \quad (3.12.1-1)$$

$$\Sigma \Delta Y_s = \Sigma \Delta Y + (Y_m^2 / 2R^2 - H_m / R) \Sigma \Delta Y \quad (3.12.1-2)$$

式中  $\Sigma \Delta X_s$  —— 改化后的纵坐标增量和(m);

$\Sigma \Delta Y_s$  —— 改化后的横坐标增量和(m);

$\Sigma \Delta X$  —— 导线的纵坐标增量和(m);

$\Sigma \Delta Y$  —— 导线的横坐标增量和(m);

$R$  —— 地球平均曲率半径, 采用 6371000m;

$Y_m$  —— 导线距中央子午线的平均距离;

$H_m$  —— 导线至大地水准面或抵偿高程面的平均高程。

3.12.2 导线与不在同一投影带的国家大地点(三角点、导线点)或按国家四等大地点精度加密的 GPS 点联测时, 应将国家大地点或 GPS 点的坐标换带, 以便于计算导线闭合差。

3.12.3 附和导线、闭合导线计算时, 可采用简易平差或严密平差。

3.12.4 导线水平角闭合差与测角中误差的计算应符合下列要求:

1 附和导线及闭合导线的水平角闭合差应按式(3.12.4)计算, 并满足本暂行规定表 3.2.8 的要求。

$$f_\beta = \alpha'_K - \alpha_K \quad (3.12.4)$$

式中  $\alpha'_K$  —— 导线测量推算的坐标方位角;

$\alpha_K$  —— 联测前所得的坐标方位角。

2 附和导线及闭合导线测量结束后, 应按本暂行规定式(1.0.6-2)以每段水平角闭合差计算导线测量的测角中误差。当计算的测角中误差超过本暂行规定表 1.0.6 规定( $m > 4''$ )时, 应分析原因, 重测水平角闭合差较大的测段, 达到测角中误差满足要求为止。

3 导线水平角闭合差在限差以内时, 宜进行平差。平差时可将闭合差平均分配在各个水平角中。

3.12.5 附和导线、闭合导线或线路中线与导线闭合, 当长度相对闭合差在



限差以内时，坐标闭合差可按坐标增量进行平差。

3.12.6 每条水准路线测量结束后，应先按本暂行规定式 1.0.7 计算每千米水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$ 。当计算的每千米水准测量的偶然中误差超过本暂行规定表 1.0.7 规定( $M_{\Delta} > 5\text{mm}$ )时，要分析原因，重测往返测高差不符值较大的测段，达到  $M_{\Delta}$  满足要求为止。

水准路线或三角高程路线的高程闭合差，在限差以内时应按距离比例平差。

3.12.7 GPS 测量的资料整理，应符合铁道部现行《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10054)的规定。

3.12.8 地形原图应符合下列规定：

1 坐标格网的长度误差及导线点在图上的点位误差均不应大于 0.3mm；坐标格网的对角线及导线点点间的图上长度误差均不应大于 0.4mm。

2 导线点应按导线里程前进方向从左至右绘于地形原图上，按坐标格网拼接图纸。

3 复核地形原图应检查：

1)测绘宽度应满足设计需要；

2)地形转点的位置；

3)等高线的位置和地形点的高程应相符，内插等高线的位置应正确合理；

4)计曲线(粗等高线)间距大于 4mm 时，应加绘首曲线(细等高线)；

5)水准点的高程和位置。

4 清绘地形原图(白纸测图)所用的颜色：

1)坐格格网用红色；

2)初测导线、定测中线、水准点等资料及注字用红色；

3)等高线及天然悬崖、陡坡、沙漠、河滩等用棕色；

- 4)公路用黄色；
- 5)农田植被等用绿色；
- 6)河流、湖泊、水塘、泉源、沟渠等用蓝色；
- 7)其他用黑色。

5 地形底图可选用厚 0.1mm 左右的橡皮纸，亦可选用厚 0.07~0.1mm，经过热定型处理、变形率小于 0.2%的聚酯薄膜。

3.12.9 线路平面透明腊纸图应按地形原图的内容描绘，并满足下列要求：

- 1 应减少图纸的折叠次数；
- 2 比较线应标明起终点里程并注明接线关系；
- 3 线路中线上的等高线高程应与线路中桩高程相符；
- 4 图上宜每隔 0.4m 注记一排计曲线的高程，等高距改变处应加注高程；

5 地形点高程可不描绘，在悬崖上下，山顶、洼地、鞍部、沟底及平坦地区等处宜适当描绘。

3.12.10 全站仪数字化测图应提供数字化地图软盘和计算机输出的线划图。

## 4 桥梁测量

### 4.1 一般规定

4.1.1 特大桥、大桥的平面和高程施工控制测量应按本章规定执行。凡未包括的内容，均按铁道部现行《新建铁路工程测量规范》(TB10101)办理。

4.1.2 桥梁平面控制测量，应结合桥梁长度、平面形状和地区地形环境等条件，可选用 GPS 测量、三角网测量、导线测量。

4.1.3 桥梁测量工作开展前应按下列要求搜集桥址地区已有的测量资料：

- 1 近期各种比例尺的地形图及所属系统。
- 2 国家和地方系统的三角点、导线点和水准点资料及系统间的换算关系。
- 3 桥梁设计所采用的高程系统与铁路、公路、水文、水利、电力及航运等有关部门的高程换算关系。
- 4 桥梁测区高程异常图。

4.1.4 桥梁测量中应建立独立的平面坐标系统，并符合下列规定：

- 1 桥中线(曲线桥为起端切线)应为 X 轴，里程增加方向为其正向；由 X 轴顺时针旋转  $90^\circ$  的方向应为 Y 轴正向。
- 2 起算点的里程值可自行设定。
- 3 定测与初测的里程系统应保持一致。

4.1.5 桥址控制点应按下列规定进行联测：

- 1 两岸桥位控制点宜与线路测量采用系统或国家和地方系统的三角点、导线点和水准点进行联测。
- 2 当线路测量已先行通过桥址时，桥中线应与线路中线控制桩进行联测，以取得里程和高程的换算关系。当为多线桥时，应按贯通的中线线别和冠号进行联测，当其他线不与贯通线平行时，应分别联测。

4.1.6 精密测量的控制点必须安全稳定，在使用的过程中应进行定期或不定期检测。控制点标志应清晰准确。

4.1.7 桥梁施工控制网精度必须符合下列规定：

- 1 平面控制的主网中，跨河的轴线边和最弱边的边长中误差均不应大于 10mm。
- 2 高程控制网中，跨河两水准点间高差的中误差不应大于 2mm。

## 4.2 GPS 平面控制测量

4.2.1 控制网的布网设计应符合下列要求：

1 控制网应控制全桥(包括正桥和引桥)的长度和方向，应将标定正桥主轴线上的控制点及引桥轴线上的各控制点纳入控制网，对双线桥梁应控制左线中线。

2 在正桥的轴线方向上，除桥址控制点外，每岸至少应设置 1~2 个方向控制点。

3 根据桥址附近地形情况，按照桥墩交会对控制点的位置要求，控制点应在两岸和桥轴线两侧布设。控制点至桥轴线的垂距不宜小于桥轴线长度的 0.6 倍。

4 控制网应由三角形或大地四边形组成，各控制点应与桥轴线点直接构成 GPS 基线向量的观测值，每个点至少应有 2 条 GPS 基线向量的观测值，多数点应有 3 条以上 GPS 基线向量的观测值。

5 控制网的相邻点间宜相互通视。困难时，每个点至少应与 2 个控制点通视。

4.2.2 桥梁 GPS 控制测量应根据估算的桥轴线长度相对中误差，按表 4.2.2 确定 GPS 网的测量精度等级，进行测量设计。

表 4.2.2

桥梁控制网等级和精度

估算的桥轴线长度 相对中误差	$< 1/200000$	$1/50000 \sim 1/200000$	$> 1/50000$
测量等级	B	C	D 或 E

4.2.3 各级 GPS 测量作业的基本技术要求应符合本暂行规定表 3.1.1 的规定。

4.2.4 桥梁 GPS 测量应记录天气状况，B、C 级测量还必须同时观测气象元素。气象元素的观测方法与要求及气象仪表的检定应符合现行国家标准《全球定位系统(GPS)测量规范》(GB/T18314)的规定。

4.2.5 桥梁 GPS 控制网的基线向量应在不同的日期或不同卫星组情况下，采用不同的天线高度进行观测。

4.2.6 桥梁 GPS 基线解算应符合下列规定：

1 基线解算一般采用双差相位观测值和三差相位观测值。作为起算值的卫星坐标一般由广播星历确定，有条件时宜用精密星历确定。

2 基线解算中起算点应有 WGS-84 坐标。起算点坐标精度：B、C 级网不宜低于 20m；D、E 级网不宜低于 25m。

3 基线解算所需的起算点坐标可由 GPS 网的基准点用坐标向量传算求得。基准点的坐标应按下列优化顺序采用：

1)国家 A、B 级 GPS 控制点或行业等级 GPS 控制点的 WGS-84 坐标；  
2)根据国家测绘主管部门提供的转换参数，将国家高等级控制点坐标转换为 WGS-84 的坐标值；

3)2~3h C/A 码伪距和广播星历绝对定位结果的 WGS-84 坐标的平均值。

4 快速静态模式测量的基线必须采用合格的双差固定解作为基线解算的最后结果。

5 各级 GPS 观测值均应加入对流层改正。单频接收机的观测值还应加入电离层改正。

4.2.7 桥梁施工 GPS 控制测量的数据后处理，应在 GPS 网整体无约束平差的基础上进行。

4.2.8 进行无约束平差时，应选择一个 GPS 点为网的基准点，基准点一般选取工程始端轴线上的控制点。其 WGS-84 坐标测定应符合本暂行规定第 4.2.6 条的规定。

4.2.9 施工坐标可采用工程椭球直接投影法(见《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10054-97)的附录 N)或其他适用的方法计算。

### 4.3 三角网控制测量

4.3.1 桥轴线长度测量的精度可按表 4.3.1-1 所列公式进行估算。

表 4.3.1-1 桥轴线长度测量精度估算

序号	梁 类 型	跨度 类型	估 算 公 式	符号含义
1	钢筋混凝土梁		$m_L = \frac{\Delta_D}{\sqrt{2}} \sqrt{N}$	$m_L$ 、 $m_l$ —桥轴线(两桥台间)长度相对中误差(mm);
2	连续梁及长跨( $l > 64m$ )结合梁	单联(跨)	$m_l = \frac{1}{2} \sqrt{n \Delta_1^2 + \delta^2}$	$l$ —梁长; $N$ —联(跨)数; $n$ —每联(跨)节间数;
		多联等跨	$m_L = m_l \sqrt{N}$	$\Delta_D$ —墩中心的点位放样限差为 10mm; $\Delta_1$ —节间拼装限差, 为 2mm;
		多联不等跨	$m_L = \sqrt{m_1 \frac{2}{1} + m_1 \frac{2}{2} + \cdots}$	$\delta$ —固定支座安装限差, 为 7mm。

在估算桥轴线长度相对中误差时，设计连续梁或长跨结合梁的梁端预留伸缩空隙，不考虑在测量允许误差之内。

长度在 2000m 以下的短跨简支梁桥，当桥式尚未确定时，可按表 4.3.1-2 估算桥轴线长度相对中误差，桥式确定后，应按表 4.3.1-1 规定的公式重新估算。

表 4.3.1-2 按桥长估算桥轴线精度

桥 长(m)	桥轴线长度相对中误差
< 200	1/10000
200~500	1/20000
> 500	1/40000

4.3.2 桥轴线边的图形权倒数应按式估算：

$$\frac{1}{P} = \frac{(\frac{m_L}{L})^2 - (\frac{m_b}{b})^2}{(\frac{\mu}{0.4343 \times 10^6})^2} \tag{4.3.2}$$

式中  $\frac{m_L}{L}$  —— 桥轴线长度相对中误差；

$\frac{m_b}{b}$  —— 基线(综合)相对中误差；

$\mu$  —— 方向观测的单位权中误差(″)。

4.3.3 桥梁三角网的等级和精度应符合表 4.3.3 的规定

表 4.3.3 三角网等级和精度

等级	测角中误差 (″)	桥轴线相对 中误差	最弱边相对 中误差	基线相对中误差
一	0.7	1/175000	1/150000	1/400000
二	1.0	1/125000	1/100000	1/300000
三	1.8	1/75000	1/60000	1/200000
四	2.5	1/50000	1/40000	1/100000

4.3.4 三角网图形的布设应满足控制精度和观测条件的要求，并使其在施工测量中能发挥最大的作用。

首级控制网可为测角网、测边网或边角网，图形应刚强、简单。亦可根据需要增设插入点或精密导线点，作为次级控制点。

当边角网或精密导线网平差时，角边观测值宜采用下列公式定权

$$P_{\beta} = 1 \tag{4.3.4-1}$$

$$P_D = \frac{m_{\beta}^2}{m_D^2} \tag{4.3.4-2}$$

式中  $m_{\beta}$  —— 测角中误差；

$m_D$  —— 边长中误差。

4.3.5 三角网的求距角不宜小于  $30^\circ$ ，困难情况下不宜小于  $25^\circ$ ，菱形网或中点多边形网的三角形应接近等边。

4.3.6 桥轴线应为三角网的一条边，与基线一端连接，并宜近于垂直。

在桥轴线方向上，每岸应至少设立 1~2 个方向控制点。轴线控制点必须纠正到设计轴线上，其间距必须精密测定。方向控制点宜设于轴线上地势较高处，否则应设高标。

4.3.7 三角点应选择在土质坚实、通视条件良好处，宜设在制高点上，并宜按施工水准点的要求测定高程。

4.3.8 三角测量觇标的形式，应根据桥址地区的地形、地物情况和三角点间的距离，采用寻常标或者双锥标，且宜采用附有活动标心的金属或木质觇标。有条件时，可埋设附有强制归心装置的观测墩。

4.3.9 三角测量观测过程中，必须对使用的光学对中器、简易三角架的圆水准器等精密对点设备，经常进行检查和校正。观测中应采取措施削弱对点误差对观测结果的影响。

4.3.10 用全站仪或光电测距仪测量三角网的边长时，应符合下列规定：

- 1 测距边的环境应符合本暂行规定附录 B 的规定。
- 2 光电测距边的测回数及往返次数，应符合表 4.3.10 的规定。

表 4.3.10 光电测距边的测回数

测距类别	测距仪等级	测回数		往返次数
		往	返	
主网中的测距边	I、II	2	2	2
次网或导线的测距边	I、II	2	2	1

注：1. 一测回是指照准目标一次，读数 4 次。

2. 时段是指测边的时间段，如上午、下午和不同的白天。

3. 主网中的测距边 2 次往返分在不同时段

3 光电测距中的测距限差，应符合本暂行规定表 1.0.8 的规定。

4 光电测距边必须加入气象、加乘常数、周期误差改正，然后化算为水平距离，最后将其归算至墩顶（或轨底）平均高程面上。应按下列公式



计算:

1) 气象改正应按本暂行规定第 3.2.6 条的规定计算。

2) 常数改正计算:

$$\text{加常数改正值 } \Delta D_c = C \quad (4.3.10-1)$$

$$\text{乘常数改正值 } \Delta D_R = R \cdot S \quad (4.3.10-2)$$

式中  $C$ ——测距仪的加常数 (mm);

$R$ ——测距仪的乘常数系数 (mm/km);

$S$ ——观测距离 (km)。

3) 周期误差改正计算

$$\Delta D_A = A \cdot \sin \left( \phi_0 + \frac{2S}{\lambda} \times 360^\circ \right) \quad (4.3.10-3)$$

式中  $A$ ——周期误差的振幅 (mm);

$\phi_0$ ——周期误差的初相角 (以度表示);

$\lambda$ ——测距仪精测调制波长 (m);

$S$ ——观测距离 (m)。

4) 斜距化算为水平距离的计算

$$D = S \cdot \cos \left( \alpha + \frac{1-k}{2R} \cdot S \cdot \rho'' \right) \quad (4.3.10-4)$$

式中  $D$ ——观测边的水平距离 (m);

$S$ ——经气象、常数和周期误差改正后的斜距 (m);

$\alpha$ ——竖直角的观测值;

$k$ ——当地的大气折光系数;

$R$ ——地球平均曲率半径 (m)。

5) 归算至墩顶 (或轨底) 高程面上的水平距离的计算

$$D_H = D \cdot \left( 1 + \frac{H_2 - H_1}{R} \right) \quad (4.3.10-5)$$

式中  $D_H$ ——墩顶 (或轨底) 平均高程面上的水平距离 (m);

$H_1$ ——棱镜横轴的高程 (m);

$H_2$ ——墩顶 (或轨底) 的平均高程 (m)。

5 对向观测的光电测距边长应按下列公式评定精度:

一次单向测量的观测值中误差：

$$m_0 = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (4.3.10-6)$$

一组对向观测的平均值中误差：

$$M_D = \frac{m_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[dd]}{n}} \quad (4.3.10-7)$$

式中  $d$ ——化算至同一高程面的一对平距之较差（mm）；

$n$ ——较差的个数

4.3.11 水平角观测测回数应符合表 4.3.11 的规定，各测回的零方向读数应均匀分布在度盘和测微器的不同位置上。每测回间零方向的读数变动值为：

$$\text{DJ}_1 \text{ 型仪器： } \frac{180^\circ}{m} + i' + \frac{i''}{m}$$

$$\text{DJ}_2 \text{ 型仪器： } \frac{180^\circ}{m} + \frac{i'}{2} + \frac{i''}{m}$$

式中  $m$ ——测回数；

$i'$  ——度盘最小分划值（DJ<sub>1</sub> 型为 4'，DJ<sub>2</sub> 型为 20'）；

$i''$  ——测微器秒格的全分划数（DJ<sub>1</sub> 型为 60<sup>g</sup>，DJ<sub>2</sub> 型为 600''， $g$  为格）。

表 4.3.11 水 平 角 测 回 数

三角网等级 仪器型号	一	二	三	四
DJ <sub>1</sub>	15	9	6	4
DJ <sub>2</sub>		12	9	6

观测时应按下列要求进行：

1 水平角观测应在日间进行。一、二等网每一测站水平角的全部测回不得一次测完。

2 水平角观测应在通视良好、呈像清晰稳定时进行，仪器温度应与气温接近一致，并避免日晒。测站上水平方向受旁折光影响时，应另选有利

观测时间进行观测。

3 观测前，在每一测站上应观测各方向水平角和竖直角概值，选择距离适中、通视良好、呈像清晰的方向作为零方向。

4 观测中，每一测回内不宜调焦，在照准标志时，微动螺旋及测微螺旋只许“旋进”。

5 气泡应居中。在观测过程中，当气泡偏离中心时，其偏离值：一、二、三等网不得超过 1 格，四等网不得超过 1.5 格，并随时在测回之间校正。

6 当竖直角在一、二、三等网超出 $\pm 3^\circ$ ，四等网超出 $\pm 5^\circ$ 时，方向值中应加入竖直轴倾斜改正，在观测该方向时，必须读记照准部水准器格值。

7 2C 绝对值：DJ<sub>1</sub> 型仪器不得超过 20"；DJ<sub>2</sub> 型仪器不得超过 30"。

4.3.12 水平角观测限差应符合表 4.3.12 的规定。

当水平角观测限差超过表 4.3.12 规定时，应在原则度盘位置上重测，并应遵守下列规定：

表 4.3.12 水平角方向观测法观测限差（"）

仪器型号	光学测微器 两次重合读数之差	半测回 归零差	各测回同方向 两倍视轴差 (2C) 的互差	各测回 同方向值互差
DJ <sub>1</sub>	1	6	9	6
DJ <sub>2</sub>	3	8	13	10

注：当观测方向数不超过 3 时，可不归零。

1 对错度盘、测错方向、读记错误或因中途发现观测条件不佳而放弃的测回，重新观测时，不应计重测数。

2 2 倍视轴差的互差或方向值互差超限时，应重测超限方向，并联测零方向。

3 半测回归零差超限，应立即重测该半测回。当引起该测回重测时，计重测数为 (n-1) 个方向测回（重测一个方向算作一个方向测回，n 为包括零方向在内的方向总数）。

4 测回中重测的方向数，超过方向总数的 1/3 时，该测回应重测，但重测数只记超限方向数。

5 测站中重测的方向测回数，超过全部方向测回总数的 1/3 时，该测站全部成果应重测。一测站全部方向测回数应为  $(n-1) \cdot m$ 。m 为基本测回数。

4.3.13 测站记录和计算的取位应符合表 4.3.13 的规定。

表 4.3.13 测站记录和计算取位 (″)

三角网等级		读数	测回中数	计算
一、二		0.1	0.01	0.01
三、四	DJ <sub>1</sub> 型	0.1	0.1	0.1
	DJ <sub>2</sub> 型	0.5		

4.3.14 平面控制网的外业工作完成后，必须按控制网的各种几何条件，检查经各种计算后的观测成果的质量，即条件方程式的不符值必须在规定的限差以内。

三角形闭合差的限值应符合表 4.3.14 的规定。

表 4.3.14 三角形闭合差限差

三角网等级	一	二	三	四
限差 (″)	2.5	3.5	7.0	9.0

极条件自由项限差：

$$W_{\text{极}} = 2m \sqrt{\sum (\cot^2 \alpha + \cot^2 \beta)} \quad (4.3.14-1)$$

式中  $m$ ——三角网测角中误差 (″)；

$\alpha$ 、 $\beta$ ——求距角。

基线条件自由项限差：

$$W_{\text{基}} = 2 \sqrt{(\rho \frac{m_{b1}}{b_1})^2 + (\rho \frac{m_{b2}}{b_2})^2 + m^2 \sum (\cot^2 \alpha + \cot^2 \beta)} \quad (4.3.14-2)$$

式中  $\frac{m_{b1}}{b_1}$ 、 $\frac{m_{b2}}{b_2}$ ——起始边边长相对中误差。

4.3.15 各等级的施工三角网应进行严密平差。

4.3.16 构成三角网条件式的数目应按完全方向观测计算。由低级网强制符合于高级网时，应根据需要加入固定角（已知角）条件、固定边（已知边）条件、坐标（已知点）条件及方位角条件。经反复严密测定、并已纠正至桥轴线上的各三角点，顺桥轴线方向均应加入平角（即 180°）条件。

4.3.17 三角网平差计算及应用成果取位应符合表 4.3.17 的规定。

表 4.3.17 平差计算及应用成果取位

三角网等级	计 算		成 果	
	角度（″）	长度（mm）	角度（″）	长度（mm）
一、二	0.01	0.01	0.01	0.1
三、四	0.01	0.1	0.1	1

4.3.18 引桥平面控制测量除结合正桥控制网以附网控制外，亦可按下列形式进行控制或加密控制。

- 1 精密导线；
- 2 线形锁；
- 3 上述 1、2 法辅加支距法。

布设的控制点投放到引桥桥墩中心的精度不得低于投点距离的 1/20000。

4.3.19 平差计算完毕后，应进行下述检验：

- 1 对网中所有几何条件（或附合条件）进行验算。
- 2 计算单位权中误差

$$\mu = \sqrt{\frac{[VV]}{\gamma}} \quad (4.3.19-1)$$

式中 V——方向观测改正值；

$\gamma$  ——全部条件方程式数目。

3. 桥轴线及最弱边边长中误差，对于边角网或测边网，不应大于 10mm；对于以基线为基础的测角网，不应大于原估算的桥轴线及最弱边边长相对中误差：

$$\frac{m_L}{L} = \sqrt{\left(\frac{m_b}{b}\right)^2 + \left(\frac{\mu}{0.4343 \times 10^6}\right)^2} \times \frac{1}{P} \quad (4.3.19-2)$$

式中  $\frac{m_b}{b}$ ——已知边或基线边的边长综合相对中误差；

$\frac{1}{P}$ ——平差后求得的桥轴线或最弱边的图形权倒数。

## 4.4 导线控制测量

4.4.1 导线测量精度应满足本暂行规定表 4.3.1-1 桥轴线长度测量精度的要求，并按本暂行规定表 4.3.3 选定测量等级。

4.4.2 高速铁路桥梁的导线控制测量，应组成多个多边形闭合环，每个导线环的边数宜为 4~6 条。

4.4.3 导线边的长度应根据桥式布置、地形条件和使用仪器来选择。在方便桥墩台定位施工的原则下，宜采用长边，最短边长不宜小于 300m，短边的相邻边长之比不宜小于 1:3。

4.4.4 导线的边长测量应根据选定的测量等级中桥轴线所需的测量精度，采用 I 级或 II 级测距精度的光电测距仪、全站仪进行，并应符合本暂行规定第 4.3.10 条的规定。

4.4.5 导线的水平角观测宜采用方向观测法，并应符合本暂行规定第 4.3.11~4.3.13 条的规定。当导线水平角为两方向时，可按奇、偶测回分别观测导线的左角、右角，左、右角分别取中数计算圆周角闭合差  $\Delta$ ， $\Delta$  等于左角中数加右角中数减  $360^\circ$ ，其值应符合表 4.4.5 的规定。

表 4.4.5

圆周角闭合差限差

导线等级	二	三	四
限差 $\Delta$ (″)	2.0	3.6	5.0

4.4.6 导线环角度闭合差的限差，不应大于按下式计算的数值。

$$f_{\rho\text{限}} = 2m\sqrt{n} \quad (4.4.6)$$

式中  $m$ ——设计所需的测角中误差 (″)；

$n$ ——导线环内角的个数。

4.4.7 导线环的实际测角中误差应按本暂行规定（1.0.6-2）式计算。

4.4.8 导线的平差计算宜采用间接平差、条件平差。角、边观测值应按本暂行规定（4.3.4-1）、（4.3.4-2）式定权。

四等导线亦可采用近似平差。

## 4.5 高程控制测量

4.5.1 施工水准网中的各水准点，应沿桥轴线两侧均匀布设，间距宜为 400m 左右，并构成连续水准环。水准测量的等级、精度、限差应符合本暂行规定表 1.0.7 的规定。在山区和丘陵地区，当平均每千米单程测站数多于 16 站时，应符合表 4.5.1 的规定。

表 4.5.1 山区和丘陵地区水准测量限差

水准测量等级	限 差（mm）	
	检查已测测段高差之差	往返较差、附和或环闭合差
二	$1.5\sqrt{n}$	$1.0\sqrt{n}$
三	$5.0\sqrt{n}$	$3.0\sqrt{n}$
四	$7.5\sqrt{n}$	$5.0\sqrt{n}$

注：n 为两水准点间单程测站数。

4.5.2 水准测量等级的适用范围应符合表 4.5.2 的规定。

表 4.5.2 水准测量等级的适用范围

项目	跨河距离（m）	
	800~2000	< 800
跨河水准测量	二等	三等
网中水准点间联测	三等	
网的起算高程引测	三等	

注：当跨河距离大于 2000m 或有变形观测等特殊要求时，应做专项设计。

4.5.3 桥墩较高，两岸坡陡时，可在陡坡上一定高差内加设辅助水准点，

其精度必须满足施工的要求。

4.5.4 水准点应根据地质情况和精度要求分别埋设混凝土标石、钢管标石、岩石标石、钻孔桩标石或基岩标石。

当工程期短、桥式简单、精度要求较低时，可在建筑物上设立施工水准标志，并加强检测。

4.5.5 每期作业开始前，所用仪器和水准尺应按表 4.5.5-1 和表 4.5.5-2 的项目要求进行检验。当有近期资料，可只检验圆水准器准确性和  $i$  角误差。

表 4.5.5-1 水准仪检验项目及限差

项 目	限 差	
	二等	三、四等
水准仪及脚架各部件的检视		
圆水准器安置准确性的检验及校正	气泡居中	
光学测微器格值的测定		
视准轴与水准轴交叉误差的检验及校正		
视准轴与水准轴 $i$ 角的检验及校正	15"	20"

表 4.5.5-2 水准尺检验项目及限差

项 目	限 差 (mm)	
	线条式因瓦标尺	区格式木质标尺
水准尺各部分的检视		
圆水准器安置准确性的检验及校正	气泡居中	
水准尺分划面弯曲差的测定	4	8
水准尺分划线每米分划间隔真长的测定	0.15	0.5
水准尺分米分划误差的测定		1.0
一对水准尺零点及基、辅分划读数差常数的测定	0.05	1.0

在作业过程中，应使圆水准器安置保持准确。每次作业开始后第一周内应每日检校  $i$  角一次，连续使用时当  $i$  角较稳定，可延续检校时间，但不应大于 15d。

4.5.6 水准测量应在呈像清晰稳定时进行往返观测，并应在仪器与外界气



温接近一致后才开始观测，同时应防止日光照晒。同一测站不得 2 次调焦，转动仪器的倾斜螺旋和测微鼓时，其最后旋转方向均应为“旋进”，并应按有关操作要求进行作业。

日出后与日落前 0.5h、太阳中天前后、风力大于四级、气温突变、雨雪、呈像跳动难于照准时、均应停止观测。

4.5.7 水准测量视线长度及高度应符合表 4.5.7 的规定。

表 4.5.7 水准测量视线长度和高度

等级	视线长度		前后视距差 (m)	前后视距累计差 (m)	视线高度 (下丝读数) (m)
	仪器型号	视距 (m)			
二	DS <sub>0.5</sub>	≤60	≤1.0	≤3.0	≥0.3
	DS <sub>1</sub>	≤50			
三	DS <sub>0.5</sub> 、DS <sub>1</sub>	≤100	≤2.0	≤5.0	三丝能读数
	DS <sub>3</sub>	≤75			
四	DS <sub>1</sub> 、DS <sub>3</sub>	≤100	≤3.0	≤10.0	三丝能读数

4.5.8 水准测量限差应符合表 4.5.8 的规定。

表 4.5.8 水准测量限差 (mm)

项目 等级		基辅分划 (黑红面) 读数之差	基辅分划 (黑红面) 所测高差之差	左右路线转 点差	检测间歇点 高差之差	上下丝读数 平均值与中 丝读数之差
二等		0.5	0.7		1.0	3.0
三等	光学测微法	1.0	1.5	3.0	3.0	
	中丝读数法	2.0	3.0			
四等		3.0	5.0	5.0	5.0	

4.5.9 桥梁施工水准网中，当跨河水准测量的跨河视线长度小于 300m 时，可采用单线过河，否则应采用双线过河并应按等精度在两岸联测，组成四边形闭合环，闭合环精度应符合本暂行规定表 1.0.7 的规定。跨河水准的选线及观测，应满足下列要求：

1 跨河水准测量应选在桥址附近河面最窄处，并可利用河中洲渚。应

避免水准视线从沙丘、草丛、沙滩、芦苇的上方通过。两岸置镜点高差不宜过大，至水边的距离应接近相等。不宜东西向跨河和在交通频繁处设站。当只能东西向设站时，应以人工反光使两岸尺上亮度基本接近。

2 观测时间，晴天时应在日出后 1h 至上午 10 时，下午 3 时至日落前 1h，或在阴天进行。

3 跨河水准测量的测回数、组数，应符合表 4.5.9 的规定。

表 4.5.9 跨河水准测量测回数及组数

及 跨距 (m) 数	等 级		二 等	
	双 测 回 数	组	双 测 回 数	组 数
≤ 300	2 (或 4 单)	2		
301~500	2	2		
501~800	4	2		
801~1200			6	4
1201~1500			8	6
1501~1700			10	8
1701~1800			12	8
1801~1900			14	8
1901~2000			16	8

4 各双测回高差的互差不应大于按下式计算的限值：

$$dH_{\text{限}} = 4M_{\Delta} \sqrt{NS} \quad (4.5.9)$$

式中 M——每千米水准测量的偶然中误差 (mm)；

N——双测回的测回数；

S——跨河视线长度 (km)。

4.5.10 施工控制水准网的外业工作完成后，应对水准网中各条件式的不符值进行检验。其限差应符合本暂行规定 4.5.1 条的有关规定。

4.5.11 施工控制水准网，宜进行全桥的整体平差。当各测段单位精度（每

千米或每测站精度) 不相等时, 则应按统一的单位权中误差确定各测段的权。

4.5.12 水准测量计算取位应符合表 4.5.12 的规定:

表 4.5.12 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)
二	0.01	0.1	0.01	0.01	0.1	0.1
三、四	0.01	0.1	0.1	0.1	0.1	1

## 4.6 控制测量的检查

4.6.1 桥梁施工过程中, 应对控制网进行定期或不定期的检测。当发现控制点的稳定性有问题时, 应立即进行局部或全面复测。

4.6.2 当控制网中仅个别控制点位移或沉陷, 而周围其他控制点仍然可靠时, 可进行局部复测, 将已产生位移或沉降的控制点与周围的稳定点联成插点网, 经精密测量及平差计算后, 对不稳定的点赋予新值。

4.6.3 当控制点中少量控制点发生明显位移, 而其他控制点稳定性难以判断时, 应进行全面复测, 并符合下列规定:

- 1 全面复测宜在原定测网的基础上进行。
- 2 复测精度应与原网定测精度相同。
- 3 桥轴线方向应与原网保持一致。
- 4 原坐标系统不得更动。复测网中轴线上的起算点必须与轴线上的稳定控制点有精密的联测关系。

5 高程系统和起算点应与原定测时一致。

4.6.4 经全面复测后的控制网, 应采用复测后的平差值。

4.6.5 复测后, 控制点坐标或高程的变化值小于  $2\sqrt{m_y^2 + m_F^2}$  ( $m_y$  为原测中误差,  $m_F$  为复测中误差) 时, 可认为其位移或沉降不显著, 原放样成果仍然有效。否则, 应对原放样的成果重新测算或重新计算, 并应采取相应的补救措施。

## 4.7 测量成果整理及技术总结

### 4.7.1 桥梁 GPS 控制测量完成后，应提交下列资料：

- 1 控制测量说明书，包括工程名称、任务依据、执行的技术标准、以及布网概况、施测日期、测量单位、施测方法、使用的仪器、网基准的选择、投影面要素、平差方法、特殊情况及处理结果；
- 2 控制网布设图；
- 3 环闭合情况及精度；
- 4 控制网边长、方位角、坐标成果及其精度；
- 5 工程施工数据；
- 6 控制点点之记。

### 4.7.2 三角网控制测量完成后，应提交下列资料：

- 1 控制测量说明书，包括工程名称、任务依据、执行的技术标准、布网概况、施测日期、测量单位、施测方法、使用仪器、平差方法、特殊情况处理及施工注意事项；
- 2 控制网布设图；
- 3 网闭合差及精度；
- 4 控制网边长、方位角、坐标成果表；
- 5 控制点点之记。

### 4.7.3 高程控制测量完成后，应提交下列成果资料：

- 1 观测手簿；
- 2 全网高差观测值一览表；
- 3 两岸与国家（或地区）水准点的联测资料；
- 4 已知高程起算点资料；
- 5 水准网平差计算资料；
- 6 单位权中误差、跨河水准点间高差的中误差、水准网中最远 2 水准点间高差的中误差等精度资料；
- 7 水准网成果表。

### 4.7.4 桥梁控制测量完成后，对使用新技术、新仪器、新方法及遇到重要问题的处理，应按下列内容要求编写技术总结：

- 1 基本情况；
- 2 施测方法和实测精度；
- 3 测量过程中发生的重要问题及处理情况；
- 4 使用和引进新技术的经验和体会。

## 5 隧道测量

### 5.1 一般规定

5.1.1 高速铁路隧道长度大于 1500m 时，应根据隧道横向贯通精度的要求，进行隧道平面控制测量设计。

高速铁路隧道相邻两开挖洞口（包括横洞口、斜井口）间的高程路线长度大于 12000m 时，应根据隧道高程贯通精度的要求，进行隧道高程控制测量设计。

5.1.2 隧道平面及高程控制测量开展工作前，应搜集下列已有的测量资料：

- 1 隧道测区地形图及其系统。
- 2 隧道及辅助坑道平面、纵断面施工图及与隧道相关的线路定测平面、纵断面图。
- 3 与隧道相关的国家和铁路线路测设的三角点、GPS 点、导线点、中线控制点、水准点及其系统。
- 4 隧道测区高程异常图。

5.1.3 隧道平面控制测量应建立独立的坐标系统，并符合下列规定。

- 1 隧道中线（曲线隧道为主要切线）为 X 轴，里程增加方向为其正向；由 X 轴顺时针旋转 90° 的方向为 Y 轴正向。
- 2 起算点的 X、Y 值可自行设定，但全隧道的 X、Y 值不宜出现负值。
- 3 起算里程宜与线路定测里程一致。

5.1.4 隧道平面及高程控制测量设计要素，可按表 5.1.4-1、表 5.1.4-2 选用。

表 5.1.4-1

平面控制测量适用长度

测量部位	测量方法	测量等级	测角精度 (")	适用长度 (km)	边长相对精度
洞 外	导线测量	二	1.0	6~20	1/20000
		三	1.8	4~6	1/20000
		四	2.5	<4	1/20000
	GPS 测量	B	1.8	>6	$3\text{mm}+1\times D^{-6}$
		C	2.5	<6	$5\text{mm}+1\times D^{-6}$
洞 内	导线测量	二	1.0	7~20	1/20000
		三	1.8	5~7	1/20000
		四	2.5	<5	1/20000

注：1.本表所列适用长度系指隧道相邻两开挖洞口间的长度；导线测量的适用长度系按导线边、角独立测量 2 组计算。

2.GPS 测量栏内测角精度指进洞方向中误差，D 为边长以 mm 计。

表 5.1.4-2

高程控制测量适用的路线长度

测量等级	每千米水准测量的偶然中误差 $M_{\Delta}(\text{mm})$	两开挖洞口间的高程路线长度 (km)	仪器等级	水准标尺类型
二	$\leq 1.0$	$> 34$	DS <sub>1</sub>	因瓦水准尺
三	$\leq 3.0$	12~34	DS <sub>3</sub>	区格式水准尺
四	$\leq 5.0$	$< 12$	DS <sub>3</sub>	区格式水准尺

5.1.5 隧道相向开挖两施工中线在贯通面上的贯通误差的限差应符合表 5.1.5 的规定。

表 5.1.5

贯通误差的限差

两开挖洞口间长度 (km)	<4	4~<8	8~<10	10~<13	13~<17	17~<20
横向贯通限差 (mm)	100	150	200	300	400	500
高程贯通限差 (mm)	50					

5.1.6 洞外、洞内控制测量误差对贯通面上的贯通误差影响值（中误差）

应符合表 5.1.6 的规定。

表 5.1.6 横向和高程贯通精度要求

测量部位	横向中误差（mm）						高程中误差  （mm）
	相邻两开挖洞口间长度（km）						
	<4	4~<8	8~<10	10~<13	13~<17	17~<20	
洞外	30	45	60	90	120	150	18
洞内	40	60	80	120	160	200	17
洞外洞内 总影响	50	75	100	150	200	250	25

注：本表不适用于利用竖井贯通测量的隧道。

### 5.1.7 洞外控制测量应在隧道开始衬砌之前完成。

洞外平面控制测量，结合隧道长度、平面形状、线路通过地区的地形和环境等条件，宜采用 GPS 测量、导线测量。

隧道洞外平面控制网应沿隧道两洞口连线方向布设。

洞外高程控制测量，应根据测量设计所需的精度，结合地形情况、水准路线长度以及仪器设备条件，采用水准测量或光电测距三角高程测量。

### 5.1.8 洞内控制测量应结合施工进度，定期进行施测。

洞内平面控制测量（包括洞口 3 个平面控制点）应定期检查复测，平面控制网宜布设成多边形导线环，导线点应布设在施工干扰小，稳固可靠的地方，点间视线应离开洞内设施 0.2m 以上。

洞内高程控制测量（包括洞口 2 个高程控制点）应定期复查检测，高程控制点应每隔 200~500m 设置一对。

### 5.1.9 导线测量误差影响而产生的在隧道贯通面上的横向中误差，应按式计算：

$$m = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yl}^2} \quad (5.1.9)$$

式中  $m_{y\beta}$ ——由于测角误差影响在隧道贯通面上所产生的横向中误差，

$$m_{y\beta} = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\sum R x^2 (m)};$$

$m_{yl}$ ——由于测边误差影响在隧道贯通面上所产生的横向中误差，



$$m_{yl} = \frac{m_l}{l} \sqrt{\sum dy^2} (m);$$

$m_\beta$ ——由导线环闭合差计算的测角中误差（″）；

$\rho$ ——1 弧度对应的秒数 206265（″）

$R_x$ ——导线环在邻近隧道两洞口连线的一条侧边上各点至贯通面的垂直距离（m）；

$\frac{m_l}{l}$ ——导线边边长相对中误差；

$d_y$ ——导线环在邻近隧道两洞口连线的一条侧边上各边在贯通面上的投影长度（m）。

5.1.10 洞外、洞内高程控制测量误差影响在隧道贯通面上所产生的高程中误差应按下列式计算：

$$m_{\Delta h} = M_{\Delta} \sqrt{L} \quad 5.1.10)$$

式中  $M_{\Delta}$ ——每千米水准测量的偶然中误差（mm），按本暂行规定式 1.0.7 计算；

$L$ ——洞外或洞内相邻两开挖洞口间高程路线长度（km）。

5.1.11 隧道每个开挖洞口应测设不少于 3 个平面控制点（包括至少 1 个洞口投点）和 2 个高程控制点，并考虑施工时需要移设或恢复的方便。

5.1.12 洞口投点及与其有联系的平面控制点，应埋设混凝土桩，水准点亦可埋设混凝土桩或利用稳固不易风化的基岩、基石刻凿。标志规格和埋设深度应符合本暂行规定附录 A 的规定。

5.1.13 经纬仪、水准仪及水准标尺、光电测距仪、全站仪的使用，应符合本暂行规定 3.2.5、3.2.6 和 3.3.4 条的规定。当光电测距精度要求在 1/100000~1/200000 时，温度应读至 0.2℃，气压应读至 0.5mmHg(66.661Pa)，并取用两端记录的平均值。

## 5.2 GPS 洞外平面控制测量

5.2.1 隧道洞外平面控制测量可选用 GPS 测量，控制网的布设应符合下列规定。

1 控制网应控制全隧道（包括各种辅助坑道）的长度和方向，并将标定隧道中线（包括与隧道相关的线路中线）的控制点纳入控制网。

2 隧道每个开挖洞口布置的不少于 3 个 GPS 控制点(包括至少 1 个洞口投点)应互相通视,点间距离应根据测量等级要求的方向、长度中误差确定。

3 隧道 GPS 控制网应布设成三角形或大地四边形。各控制点应与隧道中线点直接构成 GPS 基线向量的观测值,每个点至少应有 2 条 GPS 基线向量的观测值,多数点应有 3 条以上 GPS 基线向量的观测值。

5.2.2 隧道 GPS 平面控制测量,应根据隧道长度和允许的贯通误差估算的方向、长度中误差,按本暂行规定表 5.1.4-1 确定 GPS 网的测量等级,并按本暂行规定表 3.1.1 进行测量作业设计。

5.2.3 隧道 GPS 测量的气象观测、基线观测和解算、无约束平差、数据后处理、坐标投影计算应按本暂行规定 4.2.4~4.2.9 条执行。

### 5.3 导线测量

5.3.1 隧道导线控制测量应组成多个多边形闭合导线环,一般导线环的个数不宜少于 4 个,每个导线环的边数宜为 4~6 条。

5.3.2 导线边长应根据隧道长度和辅助坑道的位置及分布情况,同时结合地形条件和仪器测程选择,并宜采用长边。导线最短边长不宜小于 300m,短边与相邻边长之比不宜小于 1:3

5.3.3 导线的边长测量应根据测量设计所需要的精度,结合仪器设备条件,采用 I 级或 II 级测距精度的光电测距仪、全站仪,进行往返观测或不同时段观测。

光电测距时,距离、竖直角和往返测平距的观测限差应满足本暂行规定表 3.2.6 的要求。

光电测距的测回数,应根据测距要求的精度、使用仪器的精度等级,按表 5.3.3 选择。

表 5.3.3

测距精度、仪器等级、测回数

测距精度	仪器等级	往测或返测测回数
1/200000	I	4
1/150000	I 、 II	4
1/100000	I	2
	II	3
1/50000	I 、 II	1

5.3.4 导线边长实际测量精度应按下列公式进行评定：

1 单向测距中误差：

$$m_0 = \sqrt{\frac{[dd]}{2n}} \quad (5.3.4-1)$$

2 往返平均值中误差：

$$M_D = \frac{m_0}{\sqrt{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{[dd]}{n}} \quad (5.3.4-2)$$

3 相对中误差：

$$\frac{m_b}{b} = \frac{M_D}{D} \quad (5.3.4-3)$$

式中 d——归算至隧道平均高程面的往返测平距较差（mm）；

n——较差的个数；

D——测距边的水平距离（mm）。

5.3.5 导线的水平角观测，宜采用方向观测法。测回数应符合表 5.3.5-1 的规定。

表 5.3.5-1

水平角方向观测测回数

测量等级	测角中误差 (″)	仪器型号	测 回 数
二	1.0	DJ <sub>1</sub>	6~9
		DJ <sub>2</sub>	9~12
三	1.8	DJ <sub>1</sub>	4
		DJ <sub>2</sub>	6
四	2.5	DJ <sub>1</sub>	2
		DJ <sub>2</sub>	4

水平角为两方向时，可按奇、偶测回分别观测导线的左角、右角。左、右角分别取中数计算圆周角闭合差 $\Delta$ ， $\Delta$ 等于左角中数加右角中数减 $360^\circ$ ，其值应符合表 5.3.5-2 的规定。

表 5.3.5-2

圆 周 角 闭 合 差 限 差

导线等线	二	三	四
限差 $\Delta(″)$	2.0	3.6	5.0

5.3.6 水平角方向观测法测站的各项观测限差，应符合本暂行规定表 4.3.12 的规定。当观测的方向数不超过 3 个时，可不归零。

5.3.7 水平角方向观测开始时，经纬仪的水准气泡应居中。观测过程中，气泡位置偏离整置中心，DJ<sub>1</sub>型仪器不得超过 1 格，DJ<sub>2</sub>型仪器不得超过半格。当三等及以上水平角观测，观测方向的垂直角大于 $6^\circ$ 或四等水平角观测，观测方向的垂直角大于 $10^\circ$ 时，应在测回间重新整置仪器，或者进行竖轴倾斜改正。

5.3.8 水平角方向观测法每个测回的零方向读数，应均匀分配在度盘和测微器的不同位置上。每测回间零方向的读数变动值为：

$$\text{DJ}_1 \text{ 型仪器: } \frac{180^\circ}{m} + i' + \frac{i''}{m}$$

$$\text{DJ}_2 \text{ 型仪器: } \frac{180^\circ}{m} = \frac{i'}{2} + \frac{i''}{m}$$

式中  $m$ ——测回数；

$i'$  ——度盘最小分划值（DJ<sub>1</sub>型为 $4'$ ，DJ<sub>2</sub>型为 $20'$ ）；

$i''$  ——测微器秒格的全分划数（DJ<sub>1</sub>型为 $60^s$ ，DJ<sub>2</sub>型为 $600''$ ， $g$

为格)。

5.3.9 水平角方向观测的限差，超过本暂行规定表 4.3.12 的规定时，应在原测度盘位置上重测，并应遵守本暂行规定 4.3.12 条的规定。

5.3.10 导线环角度闭合差，不应大于按下式计算的限差：

$$f_{\beta\text{限}} = 2m\sqrt{n} \quad (5.3.10)$$

式中  $m$ ——设计所需的测角中误差 (″)；

$n$ ——导线环内角的个数。

导线的测角中误差，应由各导线环的角度闭合差按本暂行规定式 1.0.6-2 计算，并符合测量设计的精度要求。

5.3.11 导线的平差计算，宜采用间接平差、条件平差。角、边观测值应按下列式定权：

$$\left. \begin{aligned} P_{\beta} &= 1 \\ P_D &= \frac{m_{\beta}^2}{m_D^2} \end{aligned} \right\} \quad (5.3.11)$$

式中  $m_{\beta}$ ——计算的导线测角中误差 (″)；

$m_D$ ——导线边长中误差 (mm)。

四等导线亦可采用近似平差。

## 5.4 高程测量

5.4.1 隧道三等及以上高程控制测量应采用水准测量，四等高程控制测量可采用水准测量，也可采用光电测距三角高程测量。

5.4.2 各等级水准测量两水准点间测段的往返测高差不符值，应符合本暂行规定表 1.0.7 的规定。在山区当每千米单程测站数多于 25 个时，往返测高差不符值的限差应符合表 5.4.2 的规定。

表 5.4.2 往返测高差不符值的限差

水准测量等级	往返测高差不符值的限差 (mm)
二	$0.8\sqrt{n}$
三	$2.4\sqrt{n}$
四	$4.0\sqrt{n}$

注：n 为两水准点间单程测站数。

往返测高差不符值在限差以内时，高差采用往返测高差中数。超限时应重测，重测后测段高差采用合限的往返测高差中数。

5.4.3 二等水准测量应采用光学测微法进行往返观测，其观测顺序为后、前、前、后、即：

- 1 照准后视标尺的基本分划；
- 2 照准前视标尺的基本分划；
- 3 照准前视标尺的辅助分划；
- 4 照准后视标尺的辅助分划；

三等及四等水准测量可采用中丝读数法进行往返观测，观测顺序分别应为：后、前、前、后及后、后、前、前。当使用光学测微法时，可只读基本分划。

5.4.4 各等级水准测量测站观测的基本、辅助分划读数或黑、红面读数限差应符合表 5.4.4 的规定。

表 5.4.4 测 站 观 测 读 数 限 差

水准测量等级		基、辅分划或黑、红面读数之差
二		0.5
三	光学测微法	1.0
	中丝读数法	2.0
四		3.0

5.4.5 各等级水准测量的最大视线长度、前后视距累积差和视线高度，应符合表 5.4.5 的规定。

表 5.4.5 视线长度、前后视距累积差和视线高度（m）

水准测量等级	仪器型号	最大视线长度	前后视距差	前后视距累积差	视线高度	
					视线长度 > 20m	视线长度 ≤ 20m
二	DS <sub>1</sub>	75	≤ 1.0	≤ 3.0	≥ 0.5	≥ 0.3
	DS <sub>0.5</sub>	80				
三	DS <sub>3</sub>	75	≤ 2.0	≤ 5.0	三丝能读数	三丝能读数
	DS <sub>1</sub>	100				
四	DS <sub>3</sub>	100	≤ 3.0	≤ 10.0	三丝能读数	三丝能读数

5.4.6 四等光电测距三角高程测量的高程路线宜构成闭合环，可与平面控制网结合布设，观测时应使用精度不低于Ⅱ级的测距仪进行。

边长往返观测各 2 测回，测距限差应符合本暂行规定表 1.0.8 的规定。

竖直角采用中丝法观测，往返各 3 测回；高差往返观测值应分别进行地球曲率改正。竖直角和高差观测值应符合表 5.4.6 的限差规定。

表 5.4.6 光电测距三角高程测量的观测限差

测量等级	测距仪等级	竖直角测回数	指标差较差 (″)	竖直角较差 (″)	往返测较差 (mm)	环闭合差 (mm)
四	I、II	3	7	7	$30\sqrt{D}$	$20\sqrt{D}$

5.4.7 光电测距三角高程测量的仪器高和反射器高，观测前后应各量一次，量至毫米，其较差不应超过 2mm，取用两次量高的中级。

5.4.8 各等级高程控制测量作业结束后，应以测段往返测高差不符值或环闭合差，按本暂行规定式（1.0.7）计算高程测量每千米水准测量的偶然中误差  $M_{\Delta}$ ，其值应符合测量设计要求。

根据  $M_{\Delta}$  按本暂行规定式 5.1.10 计算的高程贯通中误差  $m_{\Delta h}$ ，应符合本暂行规定表（5.1.6）关于高程贯通精度的规定。

## 5.5 施工测量

5.5.1 施工中线控制桩应由隧道导线控制点，采用极坐标法，以 2 测回测设。中线控制桩点间宜选择长边，特别困难时也不宜小于 200m。

5.5.2 施工中线控制桩测设后应进行检核，直线上应采用正倒镜方向法延伸测量，曲线上宜采用弦线偏角法，或任意点极坐标法测量。相邻中线控制点的相对点位误差与边长的比值不得大于 1/10000。

5.5.3 开挖延伸和衬砌施工应设临时中线点。开挖延伸的施工中线，宜先用激光导向（或指向），后用全站仪、光电测距仪测定。衬砌用的临时中线点宜每 10m 加密一点，直线上应正倒镜压点或延伸，曲线上可采用偏角法、长弦支距法等方法测定。

5.5.4 洞内中线点埋设，可采用混凝土包木桩，桩顶钉一小钉以示点位。隧道立模衬砌前，必须对所使用的永久中线点和临时中线点分别进行复测检查，检查中线点时，其点位横向较差不应大于 5mm。超限时应从相邻点

逐点检测至合限的点位，再重新定正中线路点。

5.5.5 曲线平行侧移时，平行侧移距离为  $S$ （图 5.5.5），平移曲线与原曲线的关系，应符合下列要求：

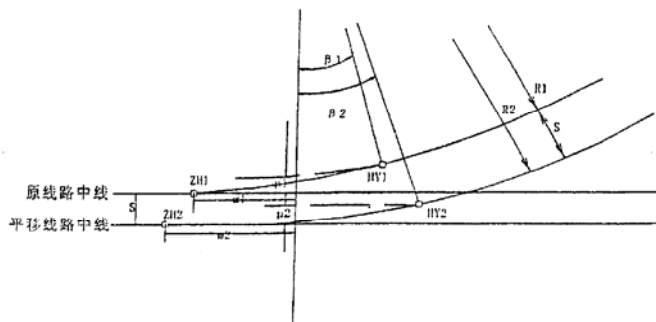


图 5.5.5 中线平移示意

- 1 平移后的圆曲线与原线路圆曲线应为同心圆，两切线平行，且  $P_1=P_2$ ；
- 2 平移后的缓和曲线要素，应按下列公式计算：

$$R_2=R_1 \pm S \text{（内移时为“—”）} \quad (5.5.5-1)$$

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} \quad (5.5.5-2)$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} \quad (5.5.5-3)$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1}} \quad (5.5.5-4)$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$ ——原曲线和平移曲线的圆曲线半径(m)；

$l_1$ 、 $l_2$ ——原线路和平移线路的缓和曲线长度(m)；

$m_1$ 、 $m_2$ ——原线路和平移线路的缓和曲线纵移距(m)；

$\beta_1$ 、 $\beta_2$ ——原线路和平移线路的缓和曲线角度；

$p_1$ 、 $p_2$ ——原线路和平移线路的缓和曲线横移距(m)。

- 3 平移后的曲线始点或终点位置，应按缓和曲线纵移距之差，即  $m_2-m_1$  确定。

5.5.6 中线控制桩和临时中线点的距离测量，宜使用光电测距仪，可变动反射镜高度测量 2 次，其较差在各等级仪器限差以内时取平均值；使用钢卷尺时，每尺段距离应丈量 2 次，2 次间钢卷尺应串动 1m 以上，读数较差



在 5mm 以内时可取平均值。

5.5.7 洞内施工用的高程点，应根据洞内已设的高程控制点加密。加密点可用道钉埋设在中线控制桩点旁边。

用水准测量测定高程时，应测 2 次或利用加密点作转点闭合到已知高程点上。

用光电测距三角高程测量测定高程时，可变动反射镜高度测量 2 次取平均值。

施工高程点应在使用中定期复测。

5.5.8 每次钻爆开挖前，应在开挖断面上根据中线和轨顶高程标出预计开挖断面轮廓线。

5.5.9 在开挖断面形成后，宜采用断面自动测绘仪测绘断面，也可采用断面支距法测绘。采用断面支距法测量时，应按中线和外拱顶高程从上至下每 0.5m 向左右量测支距。在量支距时应计入曲线隧道中心与线路中心的偏移值和施工预留宽度。

仰拱断面测量，应由设计轨顶高程线向下每隔 0.5m，自中线向左右量出开挖深度。

5.5.10 当衬砌与开挖工序紧跟时，隧道两端开挖至距预计贯通点各 100m 时，开挖断面可适当加宽。加宽值不应超过该隧道横向贯通误差限差的一半。

5.5.11 衬砌立模前，应在复核中线和高程的基础上，测设横断面的十字线方向，并应在断面上标定出拱架顶、起拱线高程和边墙底的高程位置。

立模后，必须进行检查与校正。

## 5.6 贯通误差的测定及调整

5.6.1 隧道贯通后，实际贯通误差的测定，应遵守下列规定：

1 采用中线法测量的隧道，应由测量的相向 2 方向分别延伸中线并测定出贯通点。两实际贯通点间的横向距离和纵向距离，即为横向和纵向贯通误差。

2 采用导线测量的隧道，应在贯通面中线附近钉一临时点，由两端导线分别测量该点坐标，该点的坐标闭合差分别投影在贯通面及与其相垂直

的方向上，即为横向和纵向贯通误差。并应测量该点的水平角推算方位角贯通误差。

3 高程贯通误差测量，应由两端的高程点分别测量出贯通面处临时点的高程，其高程差即为高程贯通误差。

5.6.2 隧道贯通以后，中线和高程的实际贯通误差，应在未衬砌地段(调线地段)调整。该地段的开挖和衬砌，均应以调整后的中线和高程进行放样。

5.6.3 直线隧道的贯通误差，其中线宜采用折线法调整，并符合下列要求：

- 1 因调整而产生的转折角小于  $2'$  时，可视为直线线路。
- 2 转折角在  $2' \sim 8'$  时，应按顶点的内移量确定线路及相应的衬砌位置。顶点的内移量应符合表 5.6.3 的要求。

表 5.6.3 顶 点 内 移 量

转折角	内移量(mm)	转折角	内移量(mm)
$2' 00''$	-	$6' 22''$	6
$2' 36''$	1	$6' 54''$	7
$3' 40''$	2	$7' 22''$	8
$4' 30''$	3	$7' 48''$	9
$5' 12''$	4	$8' 14''$	10
$5' 50''$	5	$8' 36''$	-

5.6.4 通过导线测得的贯通误差，在规定的贯通误差限差以内时，贯通误差的调整，应符合下列要求：

- 1 方位角贯通误差分配在未衬砌地段的导线角上；
- 2 计算贯通点的坐标闭合差；
- 3 坐标闭合差应在未衬砌地段上按边长比例分配，闭合差很小时也可按坐标平差处理；
- 4 采用调整后的导线坐标进行未衬砌地段中线放样，作为衬砌施工的依据。

5.6.5 中线法贯通的隧道，当未衬砌地段全部位于圆曲线上时，贯通误差可由两端曲线向贯通面按长度比例调整中线。

5.6.6 中线法贯通的隧道，当贯通面在曲线的起点或终点附近，从曲线端延伸的直线与直线段既不平行又不重合时(见图 5.6.6-1)，中线应按下列要求分两步调整：

## 1 调整圆曲线长度(图 5.6.6-1)

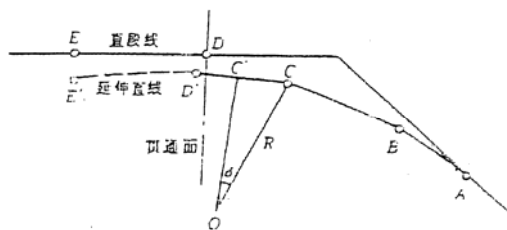


图 5.6.6-1 调整圆曲线长度示意

圆曲线增长或缩短近似值:

$$CC' = \frac{EE' - DD'}{DE} \cdot R \quad (5.6.6-1)$$

圆曲线中心角的变动值:

$$\delta = \frac{180^\circ}{\pi R} \cdot CC' \quad (5.6.6-2)$$

式中  $DD'$  ——曲线起(终)点处的横向差(mm)

$EE'$  ——延伸直线端点的横向差(mm)

$DE$  ——延伸长度, 可采用 80~100m;

$R$  ——设计的曲线半径。

## 2 调整曲线始终点(图 5.6.6-2)

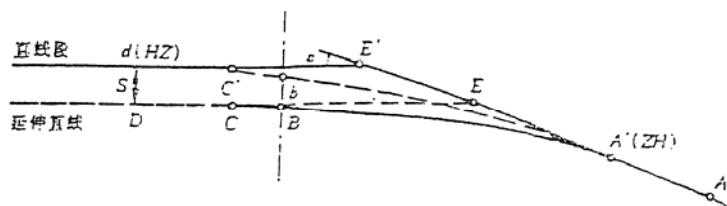


图 5.6.6-2 调整曲线始终点示意

曲线始点或终点的移动距离:

$$AA' = EE' = \frac{S}{\sin \alpha} \quad (5.6.6-3)$$

式中  $S$  ——延伸直线与直线段平行后的间距, 量至毫米;

$\alpha$  ——曲线总转角(含变动值  $\delta$ )。

5.6.7 高程贯通误差在规定的贯通误差限差以内时, 应按下列方法调整:

- 1 由两端测得的贯通点高程，应取平均值作为调整后的高程；
- 2 可按高程贯通误差的一半，分别在两端未衬砌地段的高程点上按路线长度比例调整；
- 3 应以调整后的高程，作为未衬砌地段高程放样的依据。

## 5.7 竣工测量

5.7.1 隧道竣工后，应在中线复测的基础上埋设永久线路中线控制基桩(即中线外移控制基桩)。中线复测工作应在导线贯通平差的基础上，依据导线点测设，其相对精度不低于 1/10000。

线路中线控制基桩，可按每 200m 设置一个，缓和曲线起、终点和曲中各增设一个。线路中线控制基桩应采用混凝土桩，其规格应符合本暂行规定附录 A 的规定。

5.7.2 隧道直线地段每 50m、曲线地段每 20m，以及其他需要的地方，均应测量隧道净空断面。

5.7.3 线路中线控制基桩设立后，应在隧道边墙上绘出标志。标志应符合本暂行规定附录 A 的规定。

5.7.4 洞内高程点应在复测的基础上每千米埋设一个。小于 1km 的隧道至少应设一个，并应在边墙上绘出标志。标志应符合本暂行规定附录 A 的规定。

## 5.8 测量成果整理及技术总结

5.8.1 观测和计算成果必须做到记录真实、记注明确、计算清楚和格式统一，并应在装订成册后长期保管。

5.8.2 原始观测值和记事项目必须在现场记录清楚，不得涂改或凭记忆补记。手簿必须编列页次、注记观测者、记录者、观测日期、起迄时间、气象条件、使用的仪器和觇标类型，并应详细记载观测时的特殊情况。

5.8.3 三角点、GPS 点、导线点、高程点、水准点和中线控制点的名称，必须记载正确。同一点名在各种资料中和现场必须一致。

5.8.4 数值取位应符合表 5.8.4 的规定。

表 5.8.4

数 值 取 位

项目	平 面		高 程 (mm)	
	角值 (°)	边长及坐标 (mm)	线条式因瓦水准尺	区格式水准尺
手簿	0.1	0.1	0.1	1.0
计算	0.01	0.1	0.1	0.1
成果	0.1	0.1	0.1	1.0

#### 5.8.5 洞外控制测量完成后，应提交下列资料：

1 控制测量说明：包括隧道名称、进出口里程及长度、平面形状及辅助导坑分布、布网情况、施测方法、仪器型号、平差方法、坐标系统、中线与定测关系、施测日期和特殊情况，以及处理的结果。

- 2 洞外控制测量布网示意图。
- 3 控制点点之记。
- 4 角度、边长和高程观测精度及其计算方法，平差后的精度。
- 5 GPS 网、导线的边长、坐标和方位角成果。
- 6 曲线要素。
- 7 线路里程及其与定测里程关系。
- 8 控制高程成果及其与定测高程关系。
- 9 洞口投点的进洞关系。
- 10 贯通误差估算及洞内测量设计。

#### 5.8.6 洞内控制测量完成后，应提交下列资料：

1 控制测量说明：包括布点情况、施测日期、施测方法、仪器型号、实际贯通点里程、平差方法和特殊情况，以及处理结果。

- 2 洞内控制测量布网示意图。
- 3 角度、边长、高程的实测精度及其计算方法。
- 4 洞外控制点的检测结果及其联测成果。
- 5 导线边长、方位角及坐标成果。
- 6 隧道中线放样计算。
- 7 实际贯通误差(横向、纵向和高程)。
- 8 贯通误差的调整方法。

#### 5.8.7 隧道竣工测量后，应提交线路中线控制基桩、高程点的成果和示意图，以及净空断面测量资料。

5.8.8 隧道控制测量完成后，对使用新技术、新仪器、新方法以及通过竖井测量的隧道，应按下列内容要求编写技术总结。

- 1 基本情况。
- 2 施测方法和实测精度以及精度计算方法。
- 3 实际贯通误差及调整方法。
- 4 测量过程中发生的重要问题及处理情况。
- 5 使用和引进新技术的经验和体会。

## 附录 A 控制点埋石图及标志注字方法

### A.1 埋 石

A.1.1 控制点在一般地层上的埋石(图 A.1.1)。

A.1.2 控制点在岩石上的埋石 (图 A.1.2)。

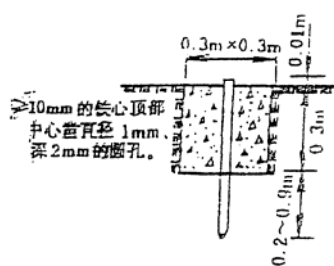


图 A.1.1 一般地层埋石示意

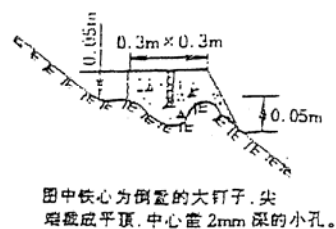


图 A.1.2 岩石上埋石示意

A.1.3 控制点在沙漠地区的埋石示于图 A.1.3。

A.1.4 控制点在严寒地区的埋石示于图 A.1.4。

A.1.5 设在坚硬岩石或墓碑上的水准点，以修凿成直径大于 5cm 的圆顶作标志(图 A.1.5)。

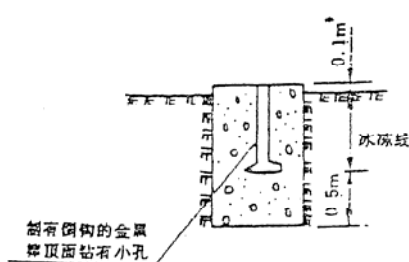
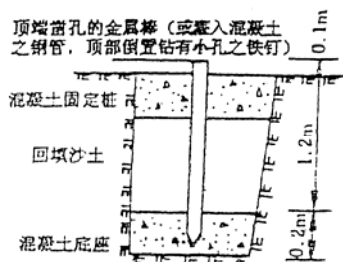


图 A.1.3 沙漠地区埋石示意 图 A.1.4 严寒地区埋石示意 图 A.1.5 修凿水准点示意

A.1.6 混凝土包圆头铁心水准点标石示于图 A.1.6。

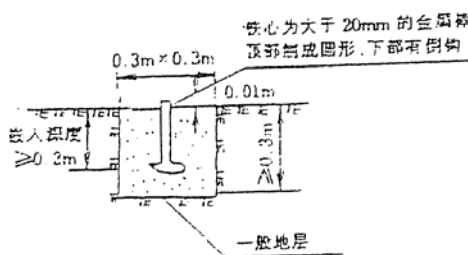


图 A.1.6 埋设水准点示意

A.2 三角点、GPS 点、导线点、水准点的标志注字

A.2.1 采用混凝土埋石的桩点，应在混凝土的表面上压印下列标志  
△(表明三角点)、⊙ (表明 GPS 点)、● (表明导线点)、● (表明水准点)、  
点的编号、“勿动”、测设单位、测设时间等项(图 A.2.1)。

当在岩石上设水准点则应用红油漆将点全部涂红，并标注上述项目。

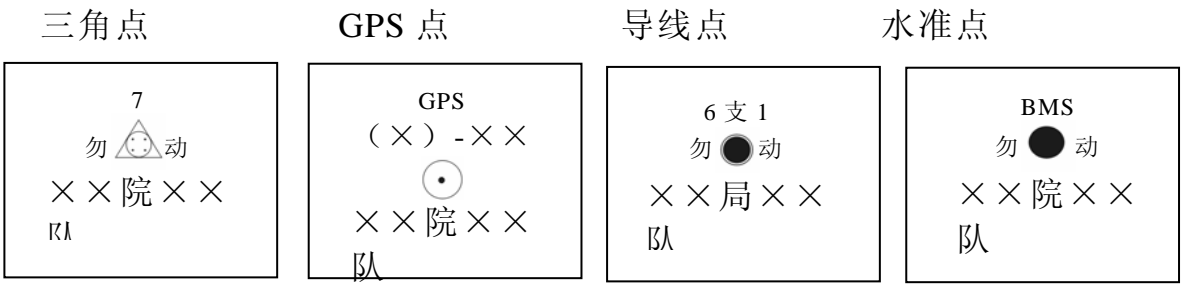


图 A.2.1 标志注字示意

A.2.2 隧道竣工后洞内线路中线控制基桩、水准点的标志，应在点位相应的隧道边墙上画出(图 A.2.2)，标志框内以白油漆刷底色，以红油漆书写文字和数字。

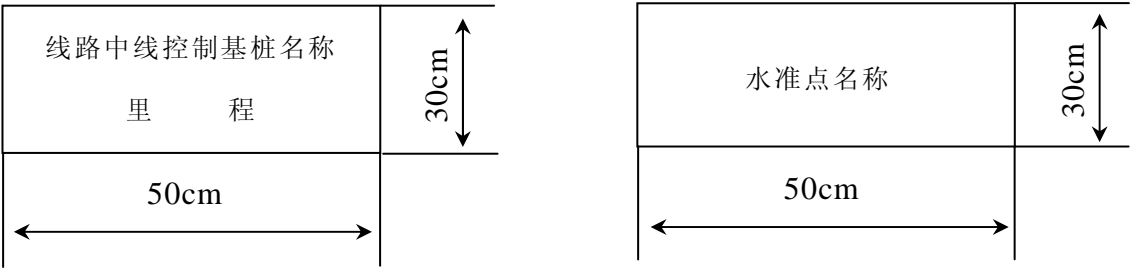


图 A.2.2 标志注字示意



## 附录 B 光电测距一般要求

**B.0.1** 光电测距仪应严格按照仪器说明书正确使用。照准头、经纬仪和反射镜应按出厂时的配套号码使用，否则必须重新检验三轴(发射轴、接收轴、照准轴)的平行性和检定加常数。

**B.0.2** 新购的光电测距仪，在使用前应进行检定，仪器修理后应重新检定。用于线路、桥梁、隧道控制测量的光电测距仪，每年应检定一次，在使用过程中发现异常情况应及时检定；用于线路中线测量的光电测距仪应定期与精度不低于  $1/100000$  的已知边长或自设的专用基线比长，比测的误差超过标称误差的 2 倍时，应进行检定。

检定的精度要求应符合国家现行《中、短程光电测距规范》(ZBA76002)的规定。

**B.0.3** 光电测距仪作业要求应符合下列规定：

- 1 应检校三轴的平行性与圆水准器及光学对中器。
- 2 视线宜高出地面和离开障碍物 1.3m 以上。
- 3 视线应避免通过受电、磁场干扰的地方，一般要求离开高压线 2~5m。
- 4 视线宜避免通过发热体(如散热塔、烟囱等)。
- 5 视线背景应避免反光体，在反射光束范围内，不得同时出现两个反射器，测距时步话机应暂停使用。
- 6 测距前应先检查电池电压是否符合要求。在低气温下作业时，应有一定的预热时间，使仪器各电子部件达到正常稳定的工作状态，方可测距。
- 7 在晴天作业时，仪器应打伞，严禁将照准头对向太阳。在线路、桥梁、隧道控制测量中，当反射镜无遮阳罩时应打伞。
- 8 应避免在烟、尘、雨、雾、霜、雪、雷、电及四级以上大风等不利条件下测距。

## 本暂行规定用词说明

执行本暂行规定条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

**C.0.1** 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

**C.0.2** 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

**C.0.3** 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”；

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

# 《高速铁路测量暂行规定》

## 条 文 说 明

高速铁路测量暂行规定的条文说明，主要是对重要的条文和高速铁路的测量精度、测量方法不同于铁道部现行《新建铁路工程测量规范》(TB10101)的有关条文加以说明。对予以说明的条文只列条文号。

1.0.3 1954 年北京坐标系是国家控制网和现行铁路工程测量各种规范目前所规定采用的坐标系统。采用这一坐标系可使高速铁路测量成果纳入全国统一的坐标系统，也便于各单位测量成果的相互联系和利用。

高速铁路由于列车运行速度快，对线路平顺性要求高，其测量精度也较一般铁路要高。而且在测量过程中，要求根据平面控制点坐标反算的边长与实际边长尽可能相符，也就是要求控制点间边长归算到参考椭球体面上(平均海水面—1985 国家高程基准)的高程归化和高斯正投影距离改化的总和(即所谓长度变形)限制在一定数值内，才能便于高速铁路勘测和施工放样。因此，高速铁路平面控制测量要采用国家统一的坐标系统，必须具备以下一些条件：

- 1 高速铁路基本呈南北走向，并通过国家统一坐标系的中央子午线附近；
- 2 高速铁路通过地区海拔不高，其平均高程面接近国家参考椭球体面；
- 3 高速铁路平面控制测量引用的国家大地点和 GPS 加密点精度高于高速铁路平面控制导线测量的精度。

我国幅员广大、地形起伏、平原、高原、山地都很辽阔，高速铁路工程呈线状穿越各种各样地区，同时能够满足上述条件的情况不多。因此，除规定可以采用全国统一的高斯正投影  $3^{\circ}$  带平面直角坐标系统外，还可以根据高速铁路通过地区的具体情况和要求，选择抵偿坐标系统、任意中央子午线坐标系统、任意中央子午线的任意较窄宽度带坐标系统。

现进行分析如下：

在高速铁路导线测量中，观测边长  $D$  归化至参考椭球体面上时，其长度将会缩短  $\Delta D$ 。设归化高程为  $H$ ，地球平均曲率半径为  $R$ ，其近似关系式为：

$$\frac{\Delta D}{D} = \frac{H}{R}$$

即高程归化变形比  $\frac{\Delta D}{D}$  与归化高程  $H$  成正比。今列出  $H$  为 50~4000m

时变形比  $\frac{\Delta D}{D}$  的数值如说明表 1.0.3-1。

说 明 表 1.0.3-1

H(m)	变形比 $\frac{\Delta D}{D}$
50	1/127420
100	1/63710
159	1/40069
200	1/31855
500	1/12742
1000	1/6371
2000	1/3185
3000	1/2123
4000	1/1592

归化到参考椭球体面上的边长  $S$ ，再投影至高斯平面时，其长度将会放长  $\Delta S$ 。设该边两端点的平均横坐标为  $y_m$ ，则其近似关系式为：

$$\frac{\Delta S}{S} = \frac{y_m^2}{2R^2}$$

即高斯正投影变形比与该边距中央子午线的平均距离的平方  $y_m^2$  成正比。今列出纬度为 19、36、53 度，带宽为 0.8、1.0、1.2、2.0、3.0 度，带边至中央子午线距离为  $y_m$  时，高斯正投影变形比  $\frac{\Delta D}{D}$  数值如说明表 1.0.3-2。

说明表 1.0.3-2

带宽	纬度 19°		纬度 36°		纬度 53°	
	$y_m$	$\frac{\Delta S}{S}$	$y_m$	$\frac{\Delta S}{S}$	$y_m$	$\frac{\Delta S}{S}$
0.8	42117	1/45762	36066	1/62408	26855	1/112560
1.0	52647	1/29288	45082	1/39941	33569	1/72038
1.2	63177	1/20338	54099	1/27737	40282	1/50027
2.0	105298	1/7321	90166	1/9985	67137	1/18010
3.0	157954	1/3253	135252	1/4437	100704	1/8004

在高速铁路经过地区作导线测量时，要求其成果只有微小的长度变形，使导线点间按坐标反算的长度和实际地面测量长度之比接近于 1。这样，在使用这些数据时，实际上可以不进行两化改正计算，大大方便于高速铁路勘测、施工的中线及其他工程测设放样工作。

对于高速铁路线路中线测量，若要求线路中线点之间的相对中误差为 1/10000，则高速铁路测量的全过程为：使用国家三等大地点，用 GPS 测量加密相当国家四等大地点，在 GPS 点的基础上作铁路五等导线测量，利用导线点测设线路中线控制点和铺设轨道。在这一全部过程中，把其中的铁路五等附合导线测量的相对闭合限差定为不大于 1/20000，再以导线测量相同的精度测设线路中线控制桩和铺设轨道，则会使线路中线点之间的相对误差不大于 1/10000。这样考虑，为使实际地面测量不受影响，暂规规定了投影的长度变形(包括高程归化、高斯正投影变形之和)不大于 1/40000，即每千米不大于 2.5 厘米。

从高速铁路测量与国家平面控制网的坐标尽可能一致以便于相互利用来考虑，暂规规定首先应考虑采用全国统一的高斯正投影 3° 带平面直角坐标系。但是，从说明表 1.0.3-1 和说明表 1.0.3-2 来看，高速铁路通过地区的高程超过 159m，或者其位置离开国家统一的 3° 带中央子午线距离大于 45km，其长度变形比均会超过规定的 1/40000，就应该采取适当的补偿措施，才能方便于实际地面测量工作。

利用高程归化时导线边长缩短，高斯正投影时导线边长伸长，两者变形符号相反的特性，就存在着一定的抵偿地带。若使高程归化变形比与高斯正投影变形比的差值不大于 1/40000，即：

$$\frac{y_m^2}{2R^2} - \frac{H}{R} = \frac{1}{40000} \quad - 73 -$$

根据这一公式，可以计算出抵偿地带的高程  $H$  和相应的横坐标  $y_m$  之间的关系，如说明表 1.0.3-3。

说 明 表 1.0.3-3

$H$ (m)	$\pm y_m$ (km)
0	0~45
50	0~52
100	0~57
150	0~63
500	66~92
1000	104~122
2000	153~166
3000	190~201
4000	221~230

从说明表 1.0.3-3 中不难看出，对于一定的高程只存在一定的抵偿地带，其东西宽度也随高程的增加而变得愈狭窄。

对于基本南北走向的高速铁路，其东西摆动在一定范围内，用人为的方法来改变归化高程面，使它与高斯正投影变形相抵偿，但并不改变国家统一的高斯正投影  $3^\circ$  带的中央子午线，这种投影方法称为抵偿高程面的高斯正投影统一  $3^\circ$  带平面直角坐标系，简称抵偿坐标系。

对于基本南北走向的高速铁路，其东西摆动在一定范围内，还可以人为改变中央子午线的位置，不改变归化高程面，使长度变形不大于  $1/40000$ ，这种方法称为任意中央子午线的高斯正投影平面直角坐标系，简称任意中央子午线坐标系。

如果基本南北走向的高速铁路，东西摆动范围超过说明表 1.0.3-3 的数值，长度变形将会大于规定的  $1/40000$ 。特别对于基本东西走向的高速铁路来讲，肯定不能采用国家统一的高斯正投影  $3^\circ$  带平面直角坐标系统或抵偿坐标系统或任意中央子午线坐标系统。这时，则可以采用任意中央子午线较窄宽度带的高斯正投影平面直角坐标系，并利用高速铁路通过地区的高程状况，选定合适的归化高程面，尽可能的减小长度变形，方便测量工作。

对于基本东西走向的高速铁路，它既经过坐标带的中央，又穿越坐标带的边缘。在坐标带的中央子午线上高斯正投影不产生变形，只有因高程归化产生的长度变形，而在坐标带的边缘则两种变形都存在，这就需要我们选择合适的归化高程面。根据说明表 1.0.3-1，要使中央子午线附近的长度变形小于 1/40000，则线路的高程至归化高程面的距离不宜大于 159m(长度变形比为 1/40069)，根据说明表 1.0.3-2（只取纬度为 19°，其  $y_m$  最大），选择带宽为 0.8° 其边缘高斯正投影变形比为 1/20338，与高程归化变形(按 159m)抵偿后的总变形比为 1/41301；若选择带宽为 1.0° 其边缘高斯正投影变形比为 1/29288，只要选择高程归化距离为 59m，其高程归化变形比为 1/107983，则抵偿后的坐标带边缘总变形比为 1/40188。

因此，对于基本东西走向的长大高速铁路，可选择中央子午线为经度的整度数，带宽取 1.0°，其高程投影面选在线路高程以下，中央子午线附近不低于 159m，边缘在 59~376m 范围内，二者共有的范围为 59~159m。这样，不论在中央子午线附近，或者在中央子午线边缘，其长度的变形比都小于 1/40000。

桥梁控制测量和隧道控制测量测设精度要求较高，可采用假定的独立坐标系。

1.0.4~1.0.8 各条内容均引自《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)。

3.1.2 条说明如下：

1 国家四等大地点的分布，一般根据需要其边长在 2~6km 范围变通，而实际上很多地区布点稀少，再加上破坏严重，给导线联测工作造成困难，如果联测距离加长，则相对精度降低，不能满足高速铁路导线测量精度要求。故暂规规定在导线测量前，首先进行 GPS 测量加密国家四等大地点。

2 高速铁路的导线测量按铁路五等，其测角中误差为 4.0"，量长相对中误差定为 1/20000。导线经水平角平差后，全长相对闭合差限差的计算公式为：

$$\frac{f}{D} = 2\sqrt{\frac{m_d^2}{n \cdot d} + \frac{m_B^2}{P^2} \times \frac{(n+1)(n+2)}{12 \cdot n}}$$

式中 d——边长；

n——边长数。

若使用 II 类光电测距仪(或全站仪), 其测距中误差为  $5+5D \cdot 10^{-6}\text{mm}$ , 角度中误差为  $4.0''$ , 平均边长为  $200\sim 600\text{m}$ 。导线全长为  $2\sim 10\text{km}$ , 代入上式计算可得说明表 3.1.2

说明表 3.1.2

导线长(km) 边长(m)	2	4	6	8	10
200	1/22278	1/18031	1/15312	1/13500	1/12197
300	1/25556	1/21285	1/18289	1/16224	1/14714
400	1/27756	1/23720	1/20607	1/18389	1/16738
500	1/29295	1/25626	1/22494	1/20187	1/18440
600	1/30394	1/27155	1/24071	1/21720	1/19908

从说明表 3.1.2 中可以看出, 若满足导线相对误差  $1/20000$ , 取平均边长为  $400\text{m}$  时, 则导线联测总长度不宜大于  $6\text{km}$ , 即本暂规规定每隔  $5\text{km}$  左右布设一对通视良好、能置镜的 GPS 点。

3 目前铁路系统使用的 GPS, 边长标称精度为  $5+1D \cdot 10^{-6}\text{mm}$ , 若满足边长相对中误差  $1/40000$ , 则边长应大于  $200\text{m}$ ; 边长方位角精度为  $0.5'' + 2.5''/D_{\text{km}}$ , 若满足边长方向精度为  $2.5''$ , 则边长应大于  $1020\text{m}$ 。不难理解, 用 GPS 加密相当于国家四等大地点时, 既要满足长度相对精度的要求, 又要满足方向精度的要求, 则其布设的 GPS 点对之间的距离应大于  $1020\text{m}$ 。为了便于勘测过程中选点的实际操作, 本暂规规定不小于  $1.0\text{km}$  为宜, 按点对间距离为  $1.0\text{km}$  计, 其边长方位精度为  $2.5495''$ 。

3.1.3 用 GPS 测量代替高速铁路导线测量, 按上条说明, 满足边长  $1/20000$ , 边长应大于  $100\text{m}$ , 若满足方向精度  $4.0''$ , 边长应大于  $629\text{m}$ 。故规定每隔  $600\sim 1000\text{m}$  布设一点。

3.2.2 条说明如下:

1 导线点的间距宜为  $400\sim 600\text{m}$

布设导线边长应尽量长些, 主要是减少测站数量, 即减少测角总误差。但导线边长太长会给导线测量本身工作带来不便, 后继工作也会增加困难。

导线边长较短时, 不只增加导线测角总数, 还会因对中误差和目标偏心差对该角度的影响较长边大而降低测角精度。

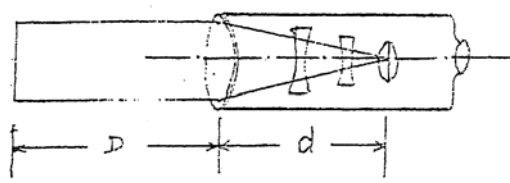


导线测量已广泛使用光电测距仪(或全站仪)进行,边长较长为好,为了其他工种方便,可以用支导线增设加点。只能增设一个支导线点,是指不得转移到支导线点再测设另一加点。

2 导线相邻边长之比不宜小于 1:3。

望远镜的物镜成像定理为:

$$\frac{1}{D} + \frac{1}{d} = \frac{1}{f}$$



说明图 3.2.2

当物距  $D$  改变  $\Delta D$  时,如果不调焦,则像距  $d$  也相应改变  $\Delta d$ 。即:

$$\frac{1}{D \pm \Delta D} + \frac{1}{d \pm \Delta d} = \frac{1}{f}$$

整理可得:

$$\Delta D = \pm \frac{D^2 \Delta d}{(D + d) \Delta d \mp d^2}$$

在导线水平角观测时,设相邻导线边的长度相差  $\Delta D$ ,如果瞄准后视后,不调焦再瞄准前视,则前视的目标影像将不落在十字丝平面上,这时将产生视差,如果视差太大将影响瞄准精度。仪器设计安装规定  $|\Delta d| \leq 0.2\text{mm}$ ,视差的影响可以忽略不计。以  $d=0.3\text{m}$ ,  $|\Delta d| = 0.2\text{mm}$ ,计算出前后视不调焦的边长列出说明表 3.2.2。

说明表 3.2.2

D (m)	$\Delta D_1$ (m)	$D_1$ (m)	$\Delta D_2$ (m)	$D_2$ (m)	$D_1/D_2$
100	29	129	18	82	1.6
200	160	360	62	138	2.6
225	225	450	75	150	3.0
300	601	901	120	180	5.0
400	3219	3619	188	212	17.0

从说明表 3.2.2 中可以看出,对于导线的短边,相邻边长之差不宜过大,对于较长的导线边,允许长度差别就大得多。为了减少高速铁路导线布设时,相邻边长相差悬殊必须调焦而引起的角度测量误差,规定相邻边长  $D_1$  和  $D_2$  之比不宜大于 3。暂规规定困难时,边长亦不得短于 200m,则其相邻边长之比为 2.6 倍时方可不调焦。即如布设短边时要注意相邻边长比,而对于较长的边长则不受此规定的限制。

### 3.2.3 条说明如下:

#### 1 关于测回间应变度盘位置的规定

对于光学经纬仪,为了消除照准误差、度盘刻化不均匀误差和防止读数粗差,规定两测回间应变度盘位置,不规定变动数值,以便提高工作效率。

对于全站仪,因采用电子测角,无度盘分划误差和上盘偏心误差,并采用电子自动记录,无读数误差,则不必应变度盘位置。如采用手工记录,为加强校核,仍应变度盘位置。

#### 2 水平角观测限差的规定

水平角观测限差是根据理论分析和实测资料统计而规定。

##### (1) 水平角观测误差分析

说明表 3.2.3-1

名称	DJ <sub>2</sub> 型		附注
	全站仪	光学经纬仪	
读数误差	0	1.7″	
照准误差	1.4″	1.4″	
对中误差	0.8″	0.8″	平均边长 400m, 偏心 e=1mm
目标偏心误差	2.6″	2.6″	平均边长 400m, 偏心 e=5mm
度盘分划误差	0	1.5″	
上盘偏心误差			

理论分析主要来源于现行《新建铁路工程测量规范》提供的有关数据，以及生产厂家提供的技术资料。把相关数据综合起来，以平均边长为 400m 计，得说明表 3.2.3-1。

#### (2)一测回测角中误差

理论分析：

$$m_{\beta} = \pm \sqrt{\frac{1}{2}(m_{\text{读}}^2 + m_{\text{照}}^2 + m_{\text{目偏}}^2 + m_{\text{度盘分划}}^2 + m_{\text{上盘偏心}}^2) + m_{\text{对中}}^2}$$

将说明表 3.2.3-1 的数值代入上式，得一测回测角中误差，全站仪  $m_{\beta} = \pm 2.3″$ ，光学经纬仪  $m_{\beta} = \pm 2.8″$ 。再考虑外界条件的影响和适当取整，并根据《国家计量检定规程》的规定，全站仪测角、测距的精度应与经纬仪、光电测距仪的规定相一致，取一测回测角中误差为  $m_{\beta} = \pm 3″$ 。

实际资料统计：

现将采用全站仪，水平角测量两测回，实测的京沪高速铁路徐宁段导线，按角度闭合差反算测角中误差的相关数据列出说明表 3.2.3-2。

由说明表 3.2.3-2 可计算出水平角两测回测角中误差：

$$m_{\beta 2} = \frac{\mu}{C} \pm \sqrt{\frac{[P \cdot f_{\beta} \cdot f_{\beta}]}{\gamma \cdot C}}$$

$$= \pm 3.08″$$

说 明 表 3.2.3-2

序号	转点数 $n'$	$P = \frac{100}{n'}$	闭合差 $f''_{\beta}$	$pf_{\beta} f_{\beta}$	序号	转点数 $n'$	$P = \frac{100}{n'}$	闭合差 $f_{\beta}$	$pf_{\beta} f_{\beta}$
1	7		3	128.57	35	5		3	180.00
2	7		4	228.57	36	5		4	320.00
3	7		3	128.57	37	5		14	3920.00
4	6		12	2400.00	38	5		7	980.00
5	6		5	416.67	39	5		8	1280.00
6	3		1	33.33	40	8		1	12.50
7	12		8	533.33	41	6		8	1066.67
8	13		26	5200.00	42	4		7	1225.00
9	6		17	4816.67	43	5		11	2420.00
10	11		3	81.82	44	6		9	1350.00
11	6		4	266.67	45	9		1	11.11
12	5		0	0	46	7		4	228.57
13	7		2	57.14	47	5		4	320.00
14	13		12	1107.69	48	5		8	1280.00
15	31		10	322.58	49	6		5	416.67
16	6		8	1066.67	50	8		9	1012.50
17	5		3	180.00	51	9		3	100.00
18	8		1	12.50	52	10		19	3610.00
19	5		1	20.00	53	7		3	128.57
20	6		4	266.67	54	6		6	600.00
21	9		9	900.00	55	5		6	720.00
22	5		8	1280.00	56	6		8	1066.67
23	6		4	266.67	57	8		11	1512.50
24	7		2	57.14	58	10		15	2250.00
25	5		4	320.00	59	6		8	1066.67
26	5		5	500.00	60	13		14	1507.69
27	5		14	3920.00	61	8		11	1512.50
28	8		7	612.50	62	6		3	150.00
29	7		2	57.14	63	6		4	266.67
30	4		2	100.00	64	10		18	3240.00
31	4		1	25.00	65	5		4	320.00
32	8		12	1800.00	66	7		10	1428.57
33	10		1	10.00	67	7		5	357.14
34	16		15	1406.25	68	6		3	150.00

一测回测角中误差为：

$$m_{\beta} = \sqrt{2} \cdot m_{\beta 2} \\ = \pm 4.36''$$

综合理论分析和实测资料，并考虑外界的影响，以及 DJ<sub>2</sub> 型经纬仪仍在应用，一测回测角中误差仍按现行《新建铁路工程测量规范》的规定为 5.5''。

### 3 两半测回间角值较差的限差

当求算两半测回间角值较差的限差时，对中误差在盘左、盘右中具有同样的符号和数值，故不计入。则两半测回间角值较差的计算公式

$$m_{\frac{\pi}{2}} = \sqrt{2(m_{\text{度盘分划}}^2 + m_{\text{读数}}^2 + m_{\text{目标偏心}}^2 + m_{\text{照准}}^2)}$$

$$\Delta_{\frac{\pi}{2}} = 2m_{\frac{\pi}{2}}$$

将说明表 3.2.3—1 所列光学经纬仪相关数值代入公式，则：

$$m_{\frac{\pi}{2}} = \pm 5.26''$$

根据全站仪实测资料统计，列出说明表 3.2.3-3。

说 明 表 3.2.3-3

顺序	线段	仪器	角度个数	[△△]	两半测回较差中误差 $m_{\frac{\pi}{2}}''$
1		TC1610	62	1790	5.37
2		TC1610	82	2934	5.84
3		TC1610	828	25396	5.54
4		捷创力	81	5964	8.58
5		捷创力	320	21711	8.24
			1373	57795	

$$m_{\frac{\pi}{2}} = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{n}} = \sqrt{\frac{57795}{1373}} = 6.49''$$

根据上述理论分析和实测资料统计，取整后得  $m_{\frac{\pi}{2}}=6.5''$ 。因此，规定两半测回间角值较差的限值为  $\Delta_{\frac{\pi}{2}}=13''$ ，规定测回间角值较差的限差为  $\Delta_{\text{角}}=13/\sqrt{2}=9.19''$ ，取 10''。

3.2.8 条说明如下：

## 1 水平角限差的规定

### (1) 检测时的较差

根据 3.2.3 条说明,一测回测角中误差为  $5.5''$ ,两测回测角中误差为  $4.0''$ ,检测时较差的中误差为两测回测角中误差的  $\sqrt{2}$  倍,取两倍中误差为较差的限差,则:

$$f_{\text{较}} = 2\sqrt{2}m_{\beta} = 2 \times \sqrt{2} \times 4.0 = 11.31'', \text{取} 15''$$

### (2) 附和(或闭合)导线角闭合差的限差:

根据导线方位角推算公式、导线角度闭合差计算公式:

$$\alpha'_{n \sim n+1} = \alpha_{0 \sim 1} + n \cdot 180 - \sum \beta_{1 \sim n}$$

$$f_{\beta} = \alpha'_{n \sim n+1} - \alpha_{n \sim n+1}$$

当  $m_{\beta 1} = m_{\beta 2} = \dots = m_{\beta n}$  时,

$$m_f^2 = m_{\beta 1}^2 + m_{\beta 2}^2 + \dots + m_{\beta n}^2$$

按误差传播定律,导线角度闭合差的中误差应为:

取两倍为其限差:

考虑外界条件影响而适当放宽,采用:

$$m_f = \sqrt{n} m_{\beta}$$

$$f_{\beta} = 10\sqrt{n}$$

$$f_{\beta} = 2\sqrt{n} m_{\beta} = 2 \times \sqrt{n} \times 4.0 = 8\sqrt{n}$$

京沪高速铁路徐宁段附和导线测量共 70 段(见说明表 3.2.3—2,另加联络线两个超限值),其中:  $f_{\beta} \leq 5\sqrt{n}$  的 63 个占 90%;  $5\sqrt{n} < f_{\beta} < 10\sqrt{n}$  的 5 个占 7.1%;  $10\sqrt{n} < f_{\beta} < 15\sqrt{n}$  的 1 个占 1.4%;  $f_{\beta} > 15\sqrt{n}$  的 1 个占 1.4%。规定  $f_{\beta} \leq 10\sqrt{n}$  为角度闭合差的限差,则满足规定要求的测段占 97% 以上。

## 2 导线长度相对闭合差

### (1) 水平角不平差

$$\frac{f}{D} = 2 \cdot \sqrt{\frac{m_d^2}{n d^2} + \frac{m_{\beta}^2}{\rho^2} \cdot \frac{(n+1)(2n+1)}{6n}}$$

若取  $m_d = 5 + 5 \cdot D \cdot 10^{-6} \text{mm}$ ,  $m_{\beta} = 4.0''$ , 平均边长按  $d = 200、400 \text{m}$ , 导线总长按  $2 \sim 10 \text{km}$ , 计算可得说明表 3.2.8-1

说明表 3.2.8-1

导线长 (km) 边长 (m)	2	4	6	8	10
200	1/12749	1/9546	1/7924	1/6916	1/6213
400	1/16773	1/13003	1/10929	1/9598	1/8655

(2) 水平角平差

$$\frac{f}{D} = 2 \cdot \sqrt{\frac{m_d^2}{n d^2} + \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \cdot \frac{(n+1)(n+2)}{12n}}$$

将有关数值代入，计算得说明表 3.2.8-2

说明表 3.2.8-2

导线长 (km) 边长 (m)	2	4	6	8	10
200	1/22278	1/18031	1/15312	1/13500	1/12197
400	1/27756	1/23720	1/20607	1/18389	1/16738

京沪高速铁路徐宁段附和导线测量共 70 段，其中：相对闭合差  $\frac{f}{D} < 1/40000$  的 57 次占 81.4%； $1/40000 < \frac{f}{D} < 1/20000$  的 12 次占 17.1%；

$\frac{f}{D} > 1/20000$  的 1 次占 1.4%，按导线长度相对闭合差的限差规定为 1/20000，则符合规定要求的共有 69 次，占总段数的 98.6%，大于 1/20000 的 1 次为 1/18302。

根据以上理论分析和实测资料统计，规定导线长度相对闭合差在水平角不平差时为 1/10000，水平角平差后为 1/20000。

### 3.3.3 条说明如下：

#### 1 关于四等水准测量

高速铁路工程中，线路常常穿越工厂、矿山、城镇居民区，以及既有铁路的线、站和公路、道路，往往以高架桥梁通过，它们多为预应力钢筋混凝土简支梁桥，有的一桥多达数百跨，也有跨越大江大河的其它梁式特大桥。特大、大、中桥梁工程在高速铁路工程中占据了较大比重，其长度约为线路总长度的 50%。

为了满足特大、大、中桥梁施工精度的要求，并避免线桥相连接时断高过大影响纵断面的平顺性，暂规规定高速铁路线路水准点高程测量按四等水准测量要求施测。

## 2 关于光电测距三角高程测量

近十几年来，在铁路勘测与施工测量中，使用光电测距三角高程代替铁路五等水准测量作业，已经取得了丰富的实践经验。国内外也有一些文献论述了光电测距三角高程测量可以代替四等及更高等级的水准测量。近年来我国铁路施工单位又在山岭隧道地区进行了四等光电测距三角高程测量，并与精密三等水准测量联测比较，表明能够达到精度要求，从而取得了新经验，并且大大提高了生产效率。国家三、四等水准测量规范(GB12898-91)也规定：在进行几何水准测量确有困难的山岳地带，以及沼泽、水网地区，四等水准路线或支线，可用电磁波测距高程导线进行测量。

鉴于以上情况，本暂规规定在山岳、丘陵地区可以采用光电测距三角高程测量方法进行四等水准点测量。但目前铁路勘测过程中，仍缺乏实践经验，有待今后进一步验证。

3.3.4 关于水准测量采用两组单程的规定，应为相互独立的两组单程，不宜采用双转点法、双置镜法施测。

3.3.5 本条规定引自《国家三、四等水准测量规范》(GB12898-91)和《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)。

3.5.1 目前，铁路勘测设计与施工单位已普遍采用各种光电测距仪和全站仪，采用极坐标法进行定测放线是最简单方便的方法，并能保证测设精度符合要求。

3.5.2 各类中线控制桩经由导线点测设时，一般距离较短，使用 I 类测距精度的仪器，将使在观测方向上的长度中误差在 5mm 以内；角度观测两测回，则使测角中误差达到 4"，可使测设点的横向中误差较小。考虑到实际测设工作先要进行概量，在钉设过程中桩位仍会变动，应钉设方桩后观测两测回，经计算准确确定测设点坐标。

3.5.5 线路中线控制桩间的距离太近，由对点引起的角度误差增大，则边长相对误差增大。假如线路中线控制桩测放的距离为 200m，角度中误差为 4"，横向中误差约为 5mm，长度中误差也为 5mm，则测设点点位中误差



为 7mm，则两相邻中线控制桩相比较，其中误差为  $\sqrt{2} \cdot 7 = 9.9\text{mm}$ ，若距离为 200m，则其长度相对中误差为 1/20000，极限相对误差为 1/10000。若距离太短，则不能保证线路中线 1/10000 的精度，影响线路中线平面的平顺性。因此，规定线路中线控制桩的间距以 200~400m 为宜。

3.5.6~3.5.8 控制桩测设后应作中线贯通联系测量，并评定其精度。联系测量后应逐一根据置镜点测放时坐标计算前点联测坐标，并与前点测放时坐标进行比较检核。

3.6.4 中线测量的中桩测设，是为线路设计提供地面纵断面和横断面资料。在直线上，控制桩（置镜转点）实测水平角为  $180^\circ \pm 15''$  以内时，若控制桩间的距离为 400m，则横向偏差约为 0.03m，可视为直线，亦可用经纬仪定向、钢卷尺拉链，按控制桩分段加桩。这样不仅没有误差积累，而且便于中桩测设。其中桩点位限差仍按《新建铁路工程测量规范》对钢卷尺的精度要求：纵向  $S/2000 + 0.1\text{m}$ ，横向 10cm。

3.6.5 任意点置镜极坐标法、偏角法是目前大家惯用的很方便的曲线测设方法。光电测距任意点置镜极坐标法，提高了曲线测设精度，特别是曲线偏角较大时，减少了量距误差影响产生的横向误差。

高速铁路的曲线一般较长，数千米长的曲线很常见，直缓、缓圆、曲中、圆缓、缓直等桩间距离也很长，利用由导线点放出的曲线控制桩 (200~400m 一个) 分段测设，将避免误差的积累，避免由曲线起点测至终点后偏差过大。

在测设曲线过程中，如另设转移测站时，规定用两测回定点是为了保证转点的精度，当转移测站多于一个时，应与下一个曲线控制桩闭合，可以避免出现粗差。

曲线中桩测设也是为线路设计提供纵断面和横断面资料，规定仍按《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99) 的要求，曲线中桩点位检测误差的限差为 10cm。

当采用偏角法测设曲线中桩时，纵向闭合差主要由曲线控制桩点位误差和钢卷尺量长误差引起，钢卷尺量长误差是主要因素；横向闭合差则由曲线控制桩点位误差、前后视不等距设置误差、偏角拨角误差、弦长丈量误差引起。高速铁路采用的曲线半径较大 (5500~14000m)，缓和曲线也较

长（210～700m），在整个曲线被分段的情况下，曲线控制桩点位误差，前后视不等距设置误差和钢卷尺丈量弦长误差所引起的横向闭合差，都比半径、缓长较小时减小，只有拨角误差引起的横向闭合差少有增大，它是产生横向闭合差的主要因素。

具体分析如下。

纵向闭合差：

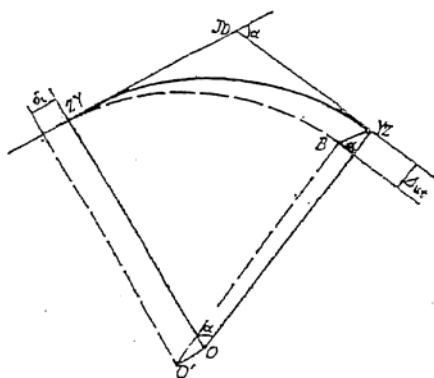
曲线控制桩由导线点两测回放设，在中线测量时进行了贯通测量，其长度精度要求为 1/10000；钢卷尺丈量弦长，其长度精度为 1/2000。因此规定曲线测设的纵向闭合差为 1/2000。

横向闭合差：

为便于分析计算，假设整个曲线为单一圆曲线形式，进行公式推导。

1 曲线起终点控制桩点位误差在切（曲）线长度上误差的影响 $\Delta u_t$

曲线起终点控制桩的点位误差，在切（曲）线长度方向上的相对误差为 1/10000。



说明图 3.6.5—1

从说明图 3.6.5—1 中看出， $\delta t = T/10000 = B \sim YZ$ ，则：

$$\Delta u_t = \frac{T}{10000} \cdot \sin \alpha$$

我们把它换成曲线半径  $R$  和曲线长度  $K$  为自变量的形式，式中  $\alpha = \frac{K}{R}$ ，

$$T = R \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = R \operatorname{tg} \frac{K}{2R}, \text{ 代入上式, 则: } \Delta u_t = \frac{T}{5000} \cdot \sin^2 \frac{K}{2R}$$

根据该式制成说明表 3.6.5—1

说 明 表 3.6.5—1

$\Delta u_t(\text{cm})$ $R(\text{m})$ \ $K(\text{m})$	100	200	300	400	500	600	700
14000	0	0.01	0.03	0.06	0.09	0.13	0.17
10000	0	0.02	0.04	0.08	0.12	0.18	0.24
7000	0.01	0.03	0.06	0.11	0.18	0.26	0.35
5500	0.01	0.04	0.08	0.15	0.23	0.33	0.44

## 2 曲线测设时起终点横向误差的影响 $\Delta u_u$

曲线起终点横向点位误差一般很小，但当测设曲线中桩时，后视距离较短，测设曲线较长，则会产生较大的横向误差。设曲线起终点的点位横向误差为 10mm，后视距离为 210m（高速铁路最短缓长 210m），则测设不同曲线长度设为  $K$ （m）的横向误差为：

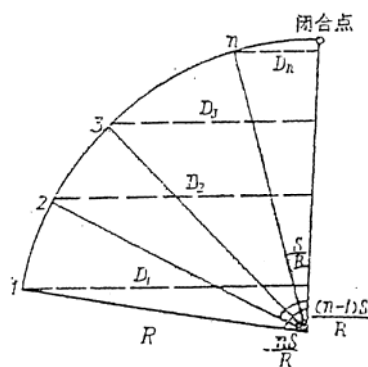
$$\Delta u_u = 1.0K/210$$

据此制成说明表 3.6.5—2

说 明 表 3.6.5—2

$K$ （m）	100	200	300	400	500	600	700
$\Delta u_u$ （cm）	0.48	0.95	1.43	1.90	2.38	2.86	3.33

### 3 偏角法拨角误差的影响 $\Delta u_{\beta}$



说明图 3.6.5—2

在说明图 3.6.5—2 中, 1、2……, n 为各置镜点, 又  $D_1$ 、 $D_2$ ……,  $D_n$  为测站至闭合点距离在闭合点切线上的投影。

设各置镜点拨角极限误差为 $\Delta\beta$ ，则各测站拨角极限误差对闭合点横向误差的影响分别为：

$$D_1 \Delta_\beta, D_2 \Delta_\beta \dots \dots \dots, D_n \Delta_\beta$$

假设各置镜点间弧长相等，为  $S$ ，则：

$$D_1 = R \cdot \sin \frac{nS}{R}$$

$$D_2 = R \cdot \sin \frac{(n-1)S}{R}$$

.....

$$D_n = R \cdot \sin \frac{S}{R}$$

按误差传播定律, 各测站拨角极限误差对闭合点横向误差的总影响为:

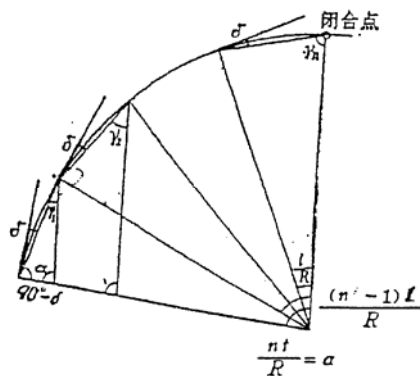
$$\Delta_{u\beta} = R \cdot \frac{\Delta\beta}{\rho} \sqrt{\sin^2 \frac{nS}{R} + \sin^2 \frac{(n-1)S}{R} + \dots + \sin^2 \frac{S}{R}}$$

若转点水平角使用 DJ<sub>6</sub> 型经纬仪施测一测回, 其测角极限误差  $\Delta \beta = 20''$ , 当测站间弧长  $S=100\text{m}$  时, 可按上式制成说明表 3.6.5—3。

说明表 3.6.5—3

$\triangle u \beta$ (cm) R(m)	K(m)	100	200	300	400	500	600	700
14000		0.97	2.17	3.63	5.31	7.19	9.25	11.47
10000		0.97	2.17	3.63	5.31	7.19	9.25	11.47
7000		0.97	2.17	3.63	5.31	7.19	9.25	11.46
5500		0.97	2.17	3.63	5.31	7.18	9.24	11.45

#### 4 钢卷尺丈量弦长误差的影响 $\triangle u l$



说明图 3.6.5—3

因弦弧长度差很小，为了方便分析计算，以弦长代替弧长推导公式。

设每段弦长为  $l$ ，钢卷尺丈量弦长误差为  $\delta_l$ ，各段弦长与切线的夹角为  $\delta$ ， $n$  为起始点至闭合点弦段数。则各段弦长与闭合点切线垂直线的夹角为：

$$\gamma_1 = \pi - \left( \frac{\pi}{2} - \delta \right) - \alpha = \frac{\pi}{2} + \frac{l}{2R} - \frac{nl}{R}$$

其中  $l/2R$  很小，略去不计，则：

$$\gamma_1 = \frac{\pi}{2} - \frac{nl}{R}$$

同理可得：

$$\gamma_2 = \frac{\pi}{2} - \frac{(n-1)l}{R}$$

.....

$$\gamma_n = \frac{\pi}{2} - \frac{l}{R}$$

则各段弦长丈量误差在闭合点引起的横向误差分别为：

$$\delta_1 \cos \gamma_1 = \delta_1 \sin \frac{nl}{R}$$

$$\delta_1 \cos \gamma_1 = \delta_1 \sin \frac{(n-1)l}{R}$$

.....

$$\delta_1 \cos \gamma_n = \delta_1 \sin \frac{l}{R}$$

当  $\frac{nl}{R}$  很小时， $\sin \frac{nl}{R} = \frac{nl}{R}$ ，则各段弦长丈量误差对横向误差总的影响为：

$$\Delta_{ul} = \delta_1 \frac{l}{R} \sqrt{n^2 + (n-1)^2 + \dots + l^2}$$

若测设曲线中桩时，每段弦长为  $L=20m$ ，钢卷尺丈量弦长误差为  $\delta_1=2cm$ ，根据上式可制成说明表 3.6.5—4

说 明 表 3.6.5—4

$\Delta_{ul}(cm)$ $R(m)$	$K(m)$	100	200	300	400	500	600	700
14000		0.02	0.06	0.10	0.15	0.21	0.28	0.35
10000		0.03	0.08	0.14	0.21	0.30	0.39	0.49
7000		0.04	0.11	0.20	0.31	0.42	0.56	0.70
5500		0.05	0.14	0.26	0.39	0.54	0.71	0.89

综合以上四项误差的影响，总的横向极限闭合差应为：

$$\Delta u = \sqrt{\Delta_{wt}^2 + \Delta_{uu}^2 + \Delta_{u\beta}^2 + \Delta_{ul}^2}$$

据此公式，制成说明表 3.6.5—5。

说 明 表 3.6.5—5

$\frac{\Delta u(\text{cm})}{R(\text{m})} \backslash K(\text{m})$	100	200	300	400	500	600	700
14000	1.08	2.37	3.90	5.64	7.58	9.69	11.95
10000	1.08	2.37	3.90	5.64	7.58	9.69	11.96
7000	1.08	2.37	3.91	5.65	7.59	9.69	11.96
5500	1.08	2.37	3.91	5.66	7.59	9.70	11.97

从说明表 3.6.5-5 中可以看出，当测设曲线长度在 600m 范围以内时，用 10cm 作为曲线测设横向闭合差的限差，现场实际测设工作是能够满足这一要求的。实际上，高速铁路一般曲线较长，但本暂规已在第 3.5 节交点及控制桩测量中提出控制桩的间距以 200~400m 为宜，本条又规定应分段测设，这样测设曲线的长度不会超过 600m。

长弦偏角法是很方便的方法，仍会在实际测量中应用，但它是任意点置镜极坐标法的特例，即测站设在曲线上的极坐标法，故本暂规第 3.6.5 条文中未提此法。

3.9.1 高速铁路工程测量较现行新建铁路工程测量，增加了 GPS 加密国家大地点测量，提高了导线测量精度，采用了极坐标法测设线路中线控制桩(包括曲线控制桩)，还提高了水准测量等级。这些测量所设的桩橛是高速铁路线路的平面、高程控制的主要桩橛，一定要交接清楚，施工单位应对其进行全面复测，避免高速铁路勘测过程中可能留下较大误差或错误，造成工程浪费。

3.9.3~3.9.5 目前，精度好的仪器已在铁路部门广泛使用，施工单位复测时条件较勘测时变好，故规定复测的精度与勘测时的精度相同。勘测单位测量时，实际上都使用了较好的仪器进行测量，所以规定复测后在检测精度允许范围以内时，可采用勘测单位成果。

3.9.6 线路中线控制桩的中线加桩，均应进行复测，以避免勘测过程中留下较大误差或错误。为了路基施工测量的方便，可以设置护桩，也可以由导线点重新测设这些中线控制桩和加桩。

3.11.1~3.11.4 线路中线控制基桩为永久性线路中线桩(外移 3~4m),是轨道铺设后调整的依据,它仍应由导线点、GPS 点采用极坐标法测设,精度与勘测时相同。这样,勘测、施工测设的中线控制桩和竣工测量测设的线路中线控制基桩,它们相互独立,测量误差互不传递,保证了轨道铺设的平顺性。

线路中线控制基桩每 200m 设置一个,因为距离太长将不便利工作,如果距离太短,则测设的点位误差将影响线路外移控制基桩点间相对精度,从而影响线路平顺性。

4.1.1 高速铁路是适应经济发达地区客流量大、列车运行速度较快的铁路,线路常常穿越工厂、矿山、城镇居民区,以及既有铁路的线、站和公路、道路,往往以高架预应力钢筋混凝土简支梁通过,有的一桥多达数百跨,也有跨越江河、山谷的其他梁式特大桥。本章规定内容,就是这些特大桥(包括复杂特大桥)大桥(包括重要大桥)的控制测量。凡未包括的内容,如水文测量、施工放样测量、竣工测量等,均按现行《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)办理。

4.1.4 本暂行规定第 1.0.3 条规定桥梁控制测量可采用独立坐标系。

本条规定所指桥梁测量,系指特大桥、大桥的控制测量,多数情况下要求精度较高需要先行独立勘测,与线路采用相同的坐标系统有困难,也没有必要。桥梁中线与线路中线平面衔接,一般采取实地联测后分别定线,很少采用坐标数据定线。平面坐标系统不一定要一致,即使一端与线路采用一致坐标,另一端也会因精度不同造成差异。

所以本条规定应采用独立的平面坐标系统。

桥址中线里程采用假设里程,以桥址控制起始点一岸靠近正桥的控制点定为桥址中线里程的起算点,可以保持勘测设计各阶段的起点里程一致,不产生差异,有利桥式选择和定位测量。

4.1.5 铁路桥梁与线路关系非常密切,桥梁的平面测量控制网与两端线路的控制桩应联测,并取得中线里程联接关系。勘测设计阶段桥梁中线里程一般都采用假设里程,初定测保持连贯。通常桥址选线或定测在前,线路接线或定测在后,则由桥梁测量提供中线控制桩位置和假设里程,线路测量提供相互里程关系。如为公路铁路两用桥,或者桥梁与当地其他工



程设施有关时，则应与国家或地方控制点进行联测，以确定平面关系。

由于桥面系统的高程设计与线路上部建筑的高程设计必须保证相互衔接，因此两者的高程测量系统必须一致，如勘测当时做不到，以后应进行联测，取得两者采用不同高程系统的换算值，以利设计工作的进行。

铁路桥梁高程不仅与两端线路高程发生关系，而且与水文、航运、堤防等有关高程有密切关系，较为复杂的桥梁牵扯部门更多，因此桥梁水准点应与有关单位可靠水准点直接联测。两个高程系统之间，在不同地点的高程换算值亦不尽相同，通过多处联测(包括跨河水准测量)确定有关水准点的高程关系，即不同系统的高程换算值，达到：①避免高程值由于水准点变形、位置变动或找错位置而发生错误；②统一各有关单位水准点高程系统值，并检核其互差是否符合精度要求；③确保桥梁工程的相对精度要求。所确定的高程关系，与线路测量采用的关系值应一致，保证桥梁与线路高程关系不出差异。

4.1.7 桥梁工程建筑物的总误差，由控制测量误差、施工放样误差和施工建造误差共同组成。根据《铁路桥涵施工规范》(TBJ203-96)表 7.1.15 的规定，墩台前后、左右边缘距中心线尺寸的容许误差为 $\pm 20\text{mm}$ ，墩台顶帽高程容许误差为 $\pm 10\text{mm}$ 。按可以使控制测量误差的影响忽略不计的原则，通常取总误差的 0.4 倍作为控制点引起误差的限制，进而推求桥梁施工控制网必须的精度。

(1) 施工平面控制网的精度要求。因为桥梁施工时采用的是独立坐标系，我们假设控制点坐标的容许误差  $m_x=m_y=m$ ，并取其为总误差的 0.4 倍认为可忽略不计，即  $m=0.4(\pm 20)=\pm 8\text{mm}$ 。再据此来推求边长的要求精度。

$$S_{12}=(X_2-X_1)^2+(Y_2-Y_1)^2$$

两边求微分得

$$dS_{12}=\cos \alpha_{12}(d_{x2}-d_{x1})+\sin \alpha_{12}(d_{y2}-d_{y1})$$

根据误差传播定律有

$$m_{S12}^2=\cos^2 \alpha_{12}(m_{x1}^2+m_{x2}^2)+\sin^2 \alpha_{12}(m_{y1}^2+m_{y2}^2)$$

将  $m_{x1}=m_{y1}=m_{x2}=m_{y2}=m=\pm 8\text{mm}$  代入得

$$m_{s12}=\sqrt{2} m=\sqrt{2} \times (\pm 8)=11.3\text{mm}(\text{取 } 10\text{mm})$$

因此规定桥梁施工平面控制网的轴线边和最弱边的边长中误差均不应大于 10mm。

(2) 施工高程控制网中跨河测量的精度要求。桥梁墩台高程是由一岸水准点(A 或 B)引测而得来, 根据前述原则和规定, 则得到桥梁两端水准点的高程中误差  $m(m_A \text{ 或 } m_B)$  应不大于  $0.4(\frac{\pm 10}{2})=2\text{mm}$ 。而桥梁中最关心的是墩台间的相对关系, 因此规定为: 两水准点(包括跨河两水准点)间高差的中误差不应大于 2mm。

4.2.1 桥梁 GPS 平面控制网是为桥梁施工而设, 因而控制网的布置应能控制桥梁平面状况, 以及便于桥墩台的定位。

桥轴线以外的两岸其他控制点距桥轴线的垂距不宜小于桥轴线长度的 0.6 倍, 可避免交会角太小影响定位精度。

桥梁 GPS 平面控制网应由三角形或大地四边形组成, 可以提高网的精度、保证网的可靠性。根据模拟计算, 在相同的技术条件下, 三角形网刚性最强可获得很高的精度和很好的可靠性, 四边形网也具有较好的精度和可靠性, 他们的点位误差都比较均匀。闭合导线网变成了多边形, 图形结构刚性很差, 点位误差增大、可靠性降低。附和导线的精度和可靠性最低。因此, GPS 控制网应由三角形或大地四边形组成, 但对高速铁路特有的长桥在满足桥轴线精度要求时, 可采用闭合环型导线网布点。

4.2.2 根据《铁路桥涵施工规范》(TBJ203-96)的表 7.1.15 规定, 墩台前后、左右边缘距中心线尺寸的容许误差为  $\pm 20\text{mm}$ , 其中误差应为  $\pm 10\text{mm}$ , 则桥轴线和用于交会桥墩的基线精度也应为  $\pm 10\text{mm}$ , 据此, 可按桥长制定表 4.2.2。

4.2.3~4.2.6 引自《全球定位系统(GPS)铁路测量规程》(TB10054-97)。

4.2.7 无约束平差可以剔除观测过程中出现的异常值, 基线向量改正数是最或是改正数, 故应在此基础上进行数据后处理。

4.2.9 桥梁平面控制测量采用独立坐标系统, 其高程投影面为墩顶(或轨底)所在的平均高程面, 直接投影法即将 GPS 网平差结果直接投影到与该工程椭球相切的高斯平面上, 进行施工坐标计算。

4.3.1 桥梁施工平面控制网要满足墩、台按设计定位的精度要求, 墩、

台定位后也必须满足梁部的拼装、架设，不同的桥式对墩、台的定位精度又有不同的要求，桥梁越长也要求较高的相对精度。

本条中有关桥轴线精度的估算公式，基本是按桥式考虑的，也顾及桥长和墩、台中心点位误差。详见《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)条文说明 6.6.1。

长度在 2000m 以内的短跨简支梁桥，当桥式尚未确定时，可按表 4.3.1-2 估算，桥式确定后，应按表 4.3.1-1 重新估算。详见《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)条文说明 6.6.2。

4.3.3~4.3.19 引自《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)第 6 章。

4.4.1 在通常情况下，跨越江河、山谷的桥梁平面控制网，都会布设成三角网，高速铁路的一般特大桥、一般大桥，多为预应力钢筋混凝土简支梁，有的一桥多达数百跨，布设成导线环则可以节省人力、物力和时间，提高勘测效率，其测量精度应该满足桥轴线测量精度的要求，保证桥梁墩、台的准确定位和梁部的准确安装、架设。

假设高速铁路的一般特大桥、一般大桥都为等跨预应力钢筋混凝土梁，根据本暂行规定表 4.3.1-1 桥轴线测量精度计算公式，若桥长为 500~2500m，梁长为 8~40m，则可计算出相应的桥轴线长度相对精度，编制成说明表 4.4.1。

说 明 表 4.4.1

<div> <div>梁长 (m)</div> <div>桥长 (m)</div> </div>	8	12	16	24	32	40
500	1/8944	1/10954	1/12649	1/15491	1/17888	1/20000
600	1/9797	1/12000	1/13856	1/16970	1/19595	1/21908
700	1/10583	1/12961	1/14966	1/18330	1/21166	1/23664
800	1/11313	1/13856	1/16000	1/19595	1/22627	1/25298
900	1/12000	1/14696	1/16970	1/20784	1/24000	1/26832
1000	1/12649	1/15491	1/17888	1/21908	1/25298	1/28284
1100	1/13266	1/16248	1/18761	1/22978	1/26532	1/29664
1200	1/13856	1/16970	1/19595	1/24000	1/27712	1/30983
1300	1/14422	1/17663	1/20369	1/24979	1/28844	1/32249
1400	1/14966	1/18330	1/21166	1/25922	1/29933	1/33466
1500	1/15491	1/18973	1/21908	1/26832	1/30983	1/34641
1600	1/16000	1/19595	1/22627	1/27712	1/32000	1/35777
1700	1/16492	1/20199	1/23323	1/28565	1/32984	1/36878
1800	1/16970	1/20784	1/24000	1/29393	1/33941	1/37947
1900	1/17435	1/21354	1/24657	1/30199	1/34871	1/38987
2000	1/17888	1/21908	1/25298	1/30983	1/35777	1/40000
2100	1/18330	1/22449	1/25922	1/31749	1/36660	1/40987
2200	1/18761	1/22978	1/26532	1/32496	1/37523	1/41952
2300	1/19183	1/23494	1/27129	1/33226	1/38366	1/42895
2400	1/19595	1/24000	1/27712	1/33941	1/39191	1/43817
2500	1/20000	1/24494	1/28284	1/34641	1/40000	1/44721

线路导线测量的相对精度为 1/20000，从说明表 4.4.1 可以看出：当桥长、梁长在粗线右侧时，桥轴线测量精度要求在 1/20000 以上，因此当桥梁长度大于 500m 时，应根据具体桥式组成按本暂行规定表 4.3.1-1 桥轴线测量精度要求，进行平面控制测量设计。

4.4.2 高速铁路桥梁采用导线控制测量，系指一般特大桥和一般大桥，即

高速铁路特有的长达数十千米的桥梁。

4.5.1~4.5.12 引自《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)第6章。

4.6.1~4.6.5 引自《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)第6章。

5.1.1 铁路隧道施工测量的主要目的是保证隧道相向开挖时能按规定的精度正确地贯通，并使各项建筑物以规定的精度按照设计位置修建。

隧道的正确贯通主要受纵向、横向、方向和高程等贯通误差的影响。

纵向贯通误差主要影响线路坡度。现在分析如下：

坡度计算公式为坡段的高差和平距之比：

$$i = \frac{h}{S} \times 1000\text{‰}$$

把该式对 S 偏微分得：

$$di = \frac{hdS}{S^2} \times 1000\text{‰}$$

假设纵向贯通误差 dS 对坡度的影 di=0.01‰时，则可以忽略不计。代入上式整理得：

$$\frac{dS}{S} = S/100000h$$

当隧道内最小坡度为 3‰(考虑排水)时

$$\frac{dS}{S} = 1/300$$

当隧道内最大坡度为 12‰(高速铁路限坡)时

$$\frac{dS}{S} = 1/1200$$

本暂行规定规定线路、隧道控制导线测量的长度相对误差最大为 1/20000。因此，纵向贯通误差不会给设计坡度和工程建筑造成不利影响。

方向贯通误差主要影响线路的平面形状。对于直线隧道，当方向贯通误差在 2' 以内时仍可视为直线线路，当方向贯通误差在 2' ~8' 之间时，可按顶点内移量考虑衬砌位置和线路内移量；对于曲线隧道，可采用加、减圆曲线长度的方法调整。因此，方向贯通误差一般也不会给施工造成困难。

高程贯通误差主要影响也是线路坡度。把坡度计算公式对  $h$  偏微分得：

$$di = \frac{dh}{S}$$

本暂行规定规定隧道高程贯通误差的限差为 50mm，从各测量单位的仪器设备情况、测量技术水平以及实际贯通资料来看，对于一般较长的隧道都不难满足。当隧道的长度越短时，则对坡度的影响越大，若隧道长度  $S=500\text{m}$ ，则  $di=50/500000=0.1\%$ ，若隧道长度为  $S=5000000\text{m}$ ，则  $di=50/5000000=0.01\%$ 。因此，高程贯通误差在一般情况下不会影响原来设计坡度，更不会给施工造成困难。

横向贯通误差主要影响线路的平面形状。当贯通误差较小时，可在未衬砌地段调整；当贯通误差超限严重时，造成隧道衬砌侵入建筑限界，必须大段炸毁，返工浪费，延误工期。

在以上谈及的四项贯通误差中，关键的是横向贯通误差和高程贯通误差。因此，在隧道控制测量工作中主要以横向贯通误差和高程贯通误差作为衡量精度的指标加以规定，指导工作。

#### 1 关于进行隧道平面控制测量设计的长度

高速铁路平面测量是在导线测量的基础上进行的，若导线测量能满足隧道横向贯通精度的要求，则不必另外进行平面控制测量。

##### (1) 洞外、洞内导线测角与量长误差

高速铁路线路平面的曲线半径较大，按规定宜采用 5500~14000m，困难条件下不应小于 5500m，相应的缓和曲线长度困难时为 490m。高速铁路隧道按规定宜采用单洞双线隧道，在内轨顶面处隧道宽度为 13.200m。这两个特点就决定了洞内导线长度(曲线弦长)约为 513m，基本上不受隧道断面限制，与洞外条件一样。

若洞外、洞内导线边长都为 400m，因洞内光线较暗，导线角度测量时照准误差比较大，根据分析资料，当采用 DJ<sub>2</sub>级经纬仪  $V=30$  时，洞内照准误差约为洞外光线照亮时的 1.67 倍，其他角角测量误差基本一样。则：

$$m_{\beta} = \sqrt{m_{\text{照}}^2 + m_{\text{觇}}^2 + m_{\text{仪}}^2 + m_{\text{其他}}^2}$$

若  $m_{\text{照外}}=1.0''$ ， $m_{\text{照内}}=1.67''$ ， $m_{\text{觇}}=0.7''$ ， $m_{\text{仪}}=0.7''$ ， $m_{\text{其他}}=1.0''$ ，则：

$$m_{\beta \text{ 洞外}} = 1.73''$$

$$m_{\beta \text{ 洞内}} = 2.18''$$

洞内测角中误差约为洞外的 1.26 倍。

若洞外导线测角中误差为  $4.0''$  (线路导线测量)，则洞内测角中误差是洞外的 1.26 倍为  $5.04''$ 。量长中误差皆为  $1/20000$ 。

## (2) 导线测量所适用的直线隧道长度

假设洞外、洞内导线均为等边直伸导线，边长均为 400m，则只有测角中误差影响隧道横向贯通中误差。若隧道长度为 1800m，则：

$$m = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2}$$

$$m_{\text{洞外}} = \frac{4.0}{206265} \sqrt{2 \times (900^2 + 500^2 + 100^2)} = 28.37 \text{ mm}$$

$$m_{\text{洞内}} = \frac{5.04}{206265} \sqrt{2 \times (900^2 + 500^2 + 100^2)} = 35.74 \text{ mm}$$

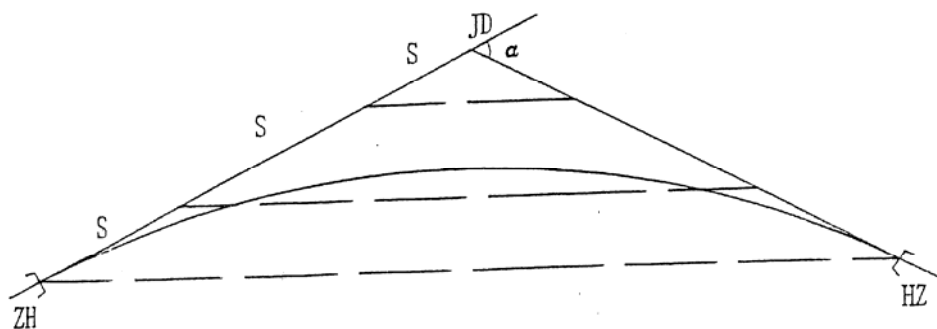
$$m = \sqrt{m_{\text{洞外}}^2 + m_{\text{洞内}}^2} = 45.63 \text{ mm}$$

## (3) 导线测量所适用的曲线隧道长度

假设整个曲线都在洞内，按规定最小曲线半径取用 5500m，缓和曲线长度为 490m，若取转向角为  $14^\circ$ ，则切线全长为 920.52m，曲线全长为 1833.90m。

假设洞外导线沿切线布设(见说明图 5.1.1-1)，洞内导线沿隧道中线布设(见说明图 5.1.1-2)。

洞外导线沿切线布设对横向贯通精度的影响



说明图 5.1.1-1

由于测角误差而产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{y\beta} = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2}$$

$$= \frac{4.0}{206265} \sqrt{2 \times (920.52^2 + 520.52^2 + 120.52^2) \times \cos^2 7^\circ}$$

$$= 28.97 \text{mm}$$

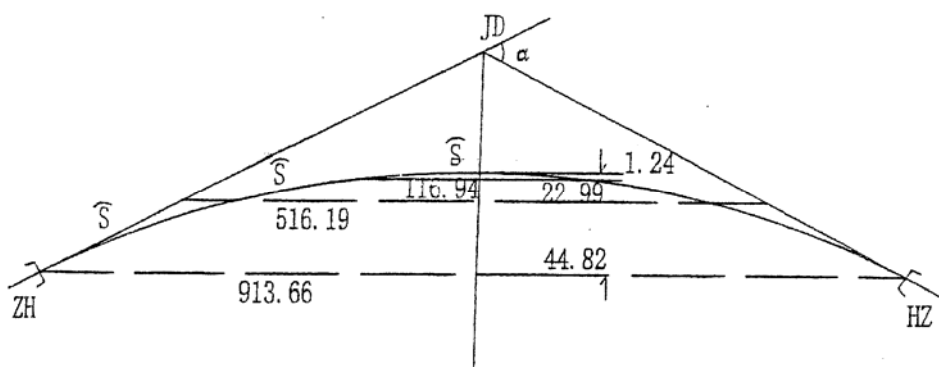
由于量长误差而产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{yL} = \frac{m_L}{L} \sqrt{\sum d_y^2}$$

$$= \frac{1}{20000} \sqrt{2 \times (400^2 + 400^2 + 120.52^2) \times \sin^2 7^\circ} = 4.98 \text{mm}$$

$$m_{\text{洞外}} = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yL}^2} = 29.39 \text{mm}$$

洞内导线沿隧道中线布设对横向贯通精度的影响



说明图 5.1.1-2

由于测角误差而产生在贯通面上的横向中误差为：



$$m_{y\beta} = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\sum R_X^2}$$

$$= \frac{5.04}{206265} \sqrt{2 \times (913.66^2 + 516.19^2 + 116.94^2)} = 36.49mm$$

由于量长误差而产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{yL} = \frac{m_L}{L} \sqrt{\sum d_y^2}$$

$$= \frac{1}{20000} \sqrt{2 \times (44.82^2 + 22.99^2 + 1.24^2)} = 3.56mm$$

$$m_{\text{洞内}} = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yL}^2} = 36.66mm$$

由于洞外、洞内测量误差所产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m = \sqrt{m_{\text{洞外}}^2 + m_{\text{洞内}}^2} = \sqrt{29.39^2 + 36.66^2} = 46.99mm$$

由以上分析可知，当曲线半径较大为 5500m，导线边长洞外、洞内都为 400m，线路导线测量所适用的直线和曲线隧道长度皆为 1800m。故条文规定不分直线和曲线隧道，凡隧道长度大于 1500m，应根据隧道横向贯通精度要求，另外进行隧道平面控制测量设计。

## 2 关于进行隧道高程控制测量设计的长度

高速铁路线路水准测量定为四等，每千米水准测量的偶然中误差  $m_{\Delta}$  为 5.0mm，若洞外水准路线长度为  $L$ km，为满足隧道洞外、洞内的高程中误差  $m_{\Delta h}$  为  $25/\sqrt{2}mm$  的要求，则应使：

$$m_{\Delta h} = m_{\Delta} \sqrt{L}$$

即  $25/\sqrt{2} = 5.0\sqrt{L}$ ，故  $L=12.5km$ 。

由此可见，线路测量时按四等水准测量精度进行的高程控制测量，可以满足水准路线长度不大于 12.5km 的隧道高程贯通精度的要求。故条文规定，凡隧道两相邻开挖洞口(包括横洞口、斜井口)间水准路线长度大于 12000m，应根据隧道高程贯通精度要求，另外进行隧道高程控制测量设计。

### 5.1.4 各级平面和高程控制测量适用隧道长度

#### 1 表 5.1.4-1 的编制

高速铁路隧道洞外控制测量的客观条件跟普通铁路隧道一样，故 5.1.4-1 的洞外部分仍基本采用了《新建铁路工程测量规范》的规定。

对于洞内导线测量，由于高速铁路线路设计曲线半径较大，且多为双线单洞隧道采用全断面开挖，这样就使导线边长可以尽量增长，使曲线隧道与直线隧道的洞内控制测量没有较大的区别。

一般，不论从减少工程数量，还是改善运营条件来讲，隧道平面设计时，中部均采用直线，只有隧道两端采用曲线连接过渡。根据高速铁路设计暂行规定对最小圆曲线长度、最小圆曲线偏角的规定，假设隧道两端各设置曲线半径为 5500m，缓和曲线长度为 490m，曲线总长度为 1200m 的曲线，且洞外、洞内各占 600m。

现按洞内导线边长为 400m，边长的相对精度为 1/20000，并以不同的隧道长度和测角精度，按公式  $m_{y\beta} = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_X^2}$  和  $m_{yL} = \frac{m_L}{L} \sqrt{\sum dy^2}$  计算隧道的贯通误差值，列于说明表 5.1.4。

说明表 5.1.4

隧道长度 (km)	1.5	3	3.9	4	4.1	5.7	7.2	7.9	8	8.8	9.9	10	11.8	12.9	13	14.3	16.9	17	20
导线边长 (m)	400																		
测角精度 (")	4	4	2.5	4	4	2.5	1.8	1.2	1.8	1.8	1.2	1.8	1.8	1.2	1.8	1.8	1.2	1.2	1.2
边长精度	1/20000																		
预计贯通误差 (mm)	22.7	55.1	49.1	81.4	84.2	83.2	83.3	63.4	96.9	111.0	87.7	133.5	169.6	128.7	195.3	224.4	191.0	192.7	244.6
按两组预计 (mm)	16.1	39.0	34.7	57.5	59.5	58.8	58.9	44.9	68.5	78.5	62.0	94.4	120.0	91.0	138.1	158.7	135.1	136.2	173.0
允许贯通误差 (mm)	40		60				80			120			160			200			

从说明表 5.1.4 可以看出：五等洞内导线  $m_\beta=4.0''$ ， $\frac{m_L}{L}=1/20000$ ，适

用的隧道最大长度为 3.0km，四等洞内导线  $m_{\beta}=2.5''$ ， $\frac{m_l}{L}=1/20000$ ，适用

的隧道最大长度为 5.7km，三等洞内导线  $m_{\beta}=1.8''$ ， $\frac{m_l}{L}=1/20000$ ，适用的

隧道最大长度为 7.2km。

对洞外控制测量，其网型布置不像洞内那样能沿线路走向布设，也不能完全沿洞口连线作最有利布设，而是假定沿切线方向布设，这既适应了洞外需要测量曲线资料的要求，也是适应地形条件而作的比较合理的假设。

对于任何一座具体的隧道，应根据隧道控制测量长度和贯通精度的要求，以及布设的导线环的实际情况，参照条文中表 5.1.4-1 进行测量设计。如能满足贯通精度的要求，则应以设计的测角、量长精度指导生产，如果不能满足贯通精度的要求，则应在可能的条件下适当提高测角量长的精度，或改变导线环的布设，直至满足贯通精度的要求。这样经过改善的控制测量网形和设计出的测角、量长精度，既能经济合理的指导生产，又能保证隧道的正确贯通。

## 2 表 5.1.4-2 的编制

两开挖洞口间水准路线长度，按下式计算：

$$L = \frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2}$$

式中  $M_{\Delta h}$ —洞外或洞内高程控制测量所产生在隧道高程贯通面上的高程中误差(mm)；

$M_{\Delta}$ —每千米水准测量高差中数的偶然中误差(mm)

如果取洞外或洞内高程控制测量所产生在隧道贯通面上的高程中误差为高程贯通精度的允许值时，则可以计算各等级水准测量适用的水准路线长度。

例如：洞外或洞内高程控制测量允许的贯通精度均为  $25/\sqrt{2}mm$ ，若按四等水准测量  $M_{\Delta}=\pm 5mm$  的要求施测时，适用的水准路线长度为：

$$L=25^2/2 \times 5^2=12.5 \text{ (km)}$$

若按三等水准测量  $M_{\Delta}=\pm 3mm$  的要求施测时，适用的水准路线长度为：

$$L=25^2/2 \times 3^2=34.7 \text{ (km)}$$

分别取  $L=12\text{km}$  和  $L=34\text{km}$ 。

5.1.5 条说明如下：

1 横向贯通限差的规定，仍采用一般铁路隧道实际贯通误差的统计结果，经分析基本上符合误差分布规律。高速铁路隧道的测量和施工技术水平都有了提高，但今后应随着实践资料的增多，不断修改完善。

2 对于高程贯通限差的规定，同样采用一般铁路隧道实际贯通误差的统计结果。

5.1.6 条说明如下：

1 洞外、洞内平面控制测量误差对贯通面上横向贯通误差影响值的分配，仍采用了一般铁路隧道洞外、洞内的分配原则。

2 洞外、洞内高程控制测量误差对贯通面上贯通误差影响值的分配，原则上考虑洞外、洞内等影响。洞外高程路线一般较长，越是长大隧道与洞内比较差异越大，而洞内高程路线一般较短，且又平坦，只是明亮度差。对于具体的一座隧道，其洞外高程路线一般情况比洞内长，洞内高程控制测量光线较暗，按等因素影响考虑是符合实际的。

洞外、洞内高程中误差具体分配值采用  $25/\sqrt{2}$ ，会使各等级高程控制测量适用的洞外、洞内路线长度一样，不再区分同一等级的高程控制测量在洞外适用长度不同于洞内适用长度。为了凑整，仍取洞外为  $18\text{mm}$ ，洞内为  $17\text{mm}$ 。

5.1.7 条说明如下：

1 隧道洞外平面控制网沿隧道两洞口连线方向布设，其网长最短、工作量最小，同时可以减少测角和量距误差所产生的横向贯通误差。

2 隧道洞外高程控制测量应采用水准测量，或光电测距三角高程测量。隧道洞外高程控制测量路线多为山地。采用光电测距三角高程测量既方便又省时，根据一些试验和实践能够达到四等水准测量的精度，国家规范规定在山岳地区可用光电测距三角高程测量做四等高程测量。

5.1.9 导线测量误差在贯通面上产生的横向中误差计算公式，系根据单导线情况推导而来的，这对通常布设成导线环来讲是安全的。

5.1.11 隧道每个开挖口测设不少于 3 个平面控制点和两个高程控制点，是长期使用过程中检查这些点位是否发生变化的最少数量。

5.3.1 导线组成多边形闭合环才能产生测角、测边的闭合差。一个多边形的闭合差具有很大的偶然性，而且产生粗差后给检查工作带来不便，多个多边形闭合导线环，会使其测角中误差、量长中误差更有广泛代表性。具体的环数和每个环的边数，可视隧道长短和地形情况确定。

5.3.2 导线边太短会增加导线点数，将使测角误差在隧道贯通面上产生的横向中误差增大，采用长边不仅可使测角误差产生的横向中误差减少，而且可以减小仪器、觇标对点误差对测角误差的影响，从而提高测角精度。短边虽可以减小其投影长度而使其在隧道贯通面上产生较小的横向中误差，但对基本沿洞口连线布设的导线，并采用光电测距仪测边时边长越长精度越高的情况下，并不显著。所以，规定宜采用长边。

导线最短边长不宜小于 300 米，是考虑按三等平面控制测量测角中误差为  $m_\beta=1.8''$ ，由仪器、觇标对中误差的影响不超过测角中误差的  $1/3$ ，则  $S=298\text{m}$ ，取  $300\text{m}$ 。如果  $m_\beta$  更小，则应增加边长或多次对中减小对中误差；反之  $m_\beta$  大一些，地形又困难时，则可使边长短些。使用短边时，要注意相邻边之比不宜小于  $1:3$ ，见本暂行规定 3.2.2 条说明。

5.3.5 水平角采用方向观测法观测已长期使用，因此不再考虑复测法。

导线环水平角观测的方向数，一般都是  $2\sim 3$  个，可不归零，没有归零差的约束。为了减少仪器带动误差的影响，故规定按奇、偶测回分别观测导线的左角和右角。

5.3.6、5.3.7 引自《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)。

5.3.9 基本上是按《国家三角测量和精密导线测量规范》的要求控制的。

5.3.11 三等及以上导线宜采用严密平差，但应注意边、角权的取值问题，即导线边长中误差  $m_D$  与测角中误差  $m_\beta$  要相互匹配，如果取值不合理则会降低成果的可靠性。

四等导线亦可采用近似平差，即通常做法，把角度闭合差先行平均分配于各角，进行坐标计算，再把坐标闭合差按比例分配，反算坐标方位角。这又一次改变了角度值，一般情况下角度改正值不应大于测角中误差的两倍。

5.4.1 隧道高程控制测量首先推荐采用水准测量。四等高程测量也可采用光电测距三角高程测量，主要考虑洞外高程控制测量多为山岳、丘陵地区，

光电测距三角高程测量能够满足精度要求，而且大大提高了生产效率。

5.4.2 关于平均每千米单程测站数多于 25 站时往返测高差不符值限差的规定。

山区铁路水准测量每千米置镜数自然会增多，根据大量生产过程中统计资料，大约每千米水准测量的置镜数为 25 个。

若以每千米水准测量置镜数为  $n=25$ ，二～四等每千米水准测量的偶然中误差分别为  $M_{\Delta}=1.0\text{mm}$ ， $3.0\text{mm}$ ， $5.0\text{mm}$ ，其相应测站观测的高差中误差为  $m_{\text{站}}$ ，则有下列关系式：

$$\sqrt{nm_{\text{站}}} = M_{\Delta}$$

其二～四等相应的测站观测的高程中误差分别为  $m_{\text{站}}=0.2\text{mm}$ ， $0.6\text{mm}$ ， $1.0\text{mm}$ ，其相应的往返测高差不符值的限差分别为  $0.8\text{mm}$ ， $2.4\text{mm}$ ， $4.0\text{mm}$ 。即为条文中表 5.4.2 的规定。

5.4.3～5.4.5 引自《国家一、二等水准测量规范》(GB12897-91)、《国家三、四等水准测量规范》(GB12898-91)。

5.4.6～5.4.8 引自《新建铁路工程测量规范》(TB10101-99)。

5.5.1 施工中线控制桩由导线控制点采用极坐标法测设是为了保证测量误差不再累积，从而提高中线测设精度。

中线控制桩点之间距离不得小于 200m，则可保证中线相对误差小于  $1/10000$ ，从而保证高速铁路线路的平顺性。(详见本暂行规定第三章)

5.5.3 指导开挖延伸和衬砌施工的中线点，为方便使用应该加密，正倒镜压点或延伸都应在施工中线控制桩间进行，以免偏差过大。

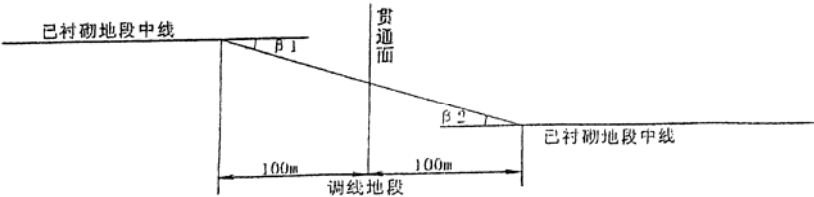
5.5.10 高速铁路隧道多为双线单洞全断面开挖，且紧跟衬砌，为避免将来实际贯通误差调整造成衬砌建筑大量返修，就应当预留适当长度的调线地段，并适当加宽开挖断面。

5.6.1 隧道贯通以后，通过贯通测量所得到的实际贯通误差，包括纵向、横向和方位角贯通误差，以及高程贯通误差。这些资料都是很宝贵的，得来不易，根据它可以研究论证贯通精度的理论问题，改善测量设计，探讨测量方法和仪器使用等各种各样问题，也可以用作修订测量规范。因此，每座隧道贯通后，均应按本条规定测定实际贯通误差，并妥善保留资料。

5.6.2 本暂行规定第 5.5.10 条规定距贯通点 100m 时应适当加宽开挖断

面，为对贯通误差的调整准备好调线地段，本条规定调线地段的开挖和衬砌，均应以调整后的中线和高程进行放样。这里明确强调是开挖和衬砌，对于要求线路平顺性较高的高速铁路，理应进行平面、高程控制测量的平差计算，并把贯通误差合理地分配于各个控制点位上，据以确定线路中线。

5.6.3 对直线隧道(只要调线地段为直线，便可看作直线隧道)采用折线法调线。调线地段取 200m，即贯通点两端各取 100m 处定出中线点，将两端中线点相连构成折线中线；两顶点的折角分别为  $\beta_1$  和  $\beta_2$ ，如说明图 5.6.3。



说明图 5.6.3

按允许横向贯通误差的限差，若加设  $R=14000\text{m}$  的大半径曲线，则其转折角、曲线长、曲线外矢距的计算值见说明表 5.6.3。

说明表 5.6.3

隧道长度 (km)	<4	4~8	8~10	10~13	13~17	17~20
横向贯通限差 (mm)	100	150	200	300	400	500
每端调线长度 (m)	100	100	100	100	100	100
转折角	1' 44"	2' 35"	3' 26"	5' 10"	6' 53"	8' 36"
圆曲线长度 (m)	7.059	10.520	13.982	21.041	28.032	35.023
曲线外矢距 (mm)	0.4	1.0	1.7	4.0	7.0	11.0

由表中计算结果归纳如下：

- 1 在横向贯通误差规定的限差以内时，曲线的转折角、圆曲线长度，都远远不能满足高速铁路设计暂行规定关于圆曲线最小偏角、圆曲线最小长度的要求，不能设置曲线。
- 2 因调线而产生的折角在 2' 及其以内时，外矢距小于 1mm，顶点内移量无法量出，可不内移，视为直线。
- 3 当折角在 2' 35" ~8' 36" 之间的，只能按内移顶点考虑线路位置。顶点内移量见条文中表 5.6.3 所列。

4 当折角大于  $8' 36''$  时，即横向贯通误差的限差超过 500mm，是不允许的。对于 10km 以上的长隧道也可预先考虑增加调线地段长度，以便万一出现较大横向贯通误差时，不致折角过大。

5.6.4 该条的规定仍遵循在调线地段进行中线调整，据以指导衬砌。这种调整方法简便，但仍是折线调整方法。

如果实际贯通误差落在中误差范围之内，而且数值比较小时，就应该在整个洞内导线上用坐标平差来消除贯通误差。但方位角的贯通误差不宜参予平差。

5.6.5 调线地段全部在圆曲线上时，应根据实际贯通误差，由两端向贯通面按长度比例调整中线位置。这种调线方法相当于在调线端点处将中线相向扭转了一个角度，消除了横向贯通误差。

5.6.6 调线地段在曲线起终点附近时，第一步调整圆曲线长度(缩短或延长)，是为了使由曲线延伸出来的切线与另一端的直线相平行；第二步调整曲线起点(或终点)位置，从而使由曲线延伸出来的切线与另一端的直线相重合。

调整线路后，应根据线路标准进行检测。

5.6.7 本条规定了当实际高程贯通误差在规定的限差以内时，高程贯通误差的调整方法，并只对未衬砌地段的高程点进行调整，以避免已建成结构物受到影响。

5.7.1 隧道竣工后，为了检查主要结构物及线路位置、状态是否符合设计要求和变化情况，以及为将来运营中养护维修和设备安装等提供测量控制桩点，必须进行竣工测量，提供竣工资料。

本条规定了对中线复测的要求和线路中线控制基桩的要求。

恢复中线时，一般不应依据洞口已知点采取直线延伸、曲线测设的方法，这样做隧道越长中线偏差越大，甚至侵入限界。在导线贯通平差的基础上，检查导线点可靠后，即可用其放设中线，这样做可避免中线测设再次产生误差积累，保证中线成果具有较好的平顺性。