

## 6 隧道测量

### 6.1 一般规定

- 6.1.1 隧道平面控制测量应结合隧道长度、平面形状、辅助坑道位置、以及线路通过地区的地形和环境条件等，采用 GPS 测量、导线测量、三角形网测量及其综合测量方法。高程控制测量可采用水准测量、光电测距三角高程测量。
- 6.1.2 平面控制网坐标系宜采用以隧道平均高程面为基准面，以隧道长直线或曲线隧道切线（或公切线）为坐标轴的施工独立坐标系，坐标轴的选取应方便施工使用。高程系统应与线路高程系统相同。
- 6.1.3 隧道洞外控制测量应在隧道开挖前完成。
- 6.1.4 隧道两相向开挖洞口施工中线在贯通面上的横向和高程贯通误差应符合表 6.1.4 的规定。

表 6.1.4 隧道贯通误差规定

项 目	横向贯通误差							高程贯通误差
	L<4	4≤L<7	7≤L<10	10≤L<13	13≤L<16	16≤L<19	19≤L<20	
相向开挖长度（km）	L<4	4≤L<7	7≤L<10	10≤L<13	13≤L<16	16≤L<19	19≤L<20	
洞外贯通中误差（mm）	30	40	45	55	65	75	80	18
洞内贯通中误差（mm）	40	50	65	80	105	135	160	17
洞内外综合贯通中误差（mm）	50	65	80	100	125	160	180	25
贯通限差（mm）	100	130	160	200	250	320	360	50

注：1 本表不适用于利用竖井贯通的隧道。

2 相向开挖长度大于 20km 的隧道应作特殊设计。

- 6.1.5 隧道长度大于 1500m 时，应根据横向贯通误差进行平面控制网设计，估算洞外控制测量产生的横向贯通误差影响值，并进行洞内测量设计。水准路线长度大于 5000m 时，应根据高程贯通中误差进行高程控制网设计。
- 6.1.6 洞外控制网与线路控制网的联结应符合下列规定：
- 1 当线路控制网（CPI、CPII）精度满足隧道控制测量要求时，应在线路控制网基础上扩展加密，建立隧道控制网。
  - 2 当线路控制网精度不能满足隧道控制测量要求时，应建立隧道独立控制网，并与隧道洞口附近线路控制点联测。
  - 3 洞外高程控制测量应从隧道一端的线路水准基点联测至另一端的线路水准基点。
- 6.1.7 当隧道洞口两端的线路控制网（CPI、CPII）不在一个投影带内时，需建立独立的隧道施工控制网。

### 6.4 洞外控制测量

- 6.4.1 洞外控制测量应根据本规范表 6.1.4 规定的隧道的洞外控制测量贯通误差进行洞外控制网设计。洞外控制网设计应符合下列要求：
- 1 平面控制网应根据洞外允许横向贯通中误差，结合实际布网条件进行贯通误差估算。
  - 2 高程控制网应根据勘选的地表高程路线长度和洞内贯通长度，按高程贯通误差估算公式分别估算洞外、洞内高程贯通误差，确定洞外高程控制测量精度。
- 6.4.2 隧道洞外控制测量技术要求应满足表 6.4.2-1 和表 6.4.2-2 的规定。

表 6.4.2-1 平面控制测量设计要素

测量部位	测量方法	测量等级	适用长度 (km)	洞口联系边 方向中误差 (")	测角中误差 (")	边长相对中误差
洞外	GPS 测量	一	6~20	1.0		1/250000
		二	4~6	1.3		1/180000
		三	<4	1.7		1/100000
	导线 测量	二	8~20		1.0	1/200000
			6~8			1/100000
		三	4~6		1.8	1/80000
		四	1.5~4		2.5	1/50000
	三角形网 测量	二	8~20		1.0	1/200000
			6~8			1/150000
		三	4~6		1.8	1/100000
		四	1.5~4		2.5	1/50000
洞内	导线 测量	二	9~20		1.0	1/100000
		隧道 2 等	6~9		1.3	1/100000
		三	3~6		1.8	1/50000
		四	1.5~3		2.5	1/50000
		一级	<1.5		4.0	1/20000

表 6.4.2-2 高程控制测量技术要求

测量部位	测量等级	两开挖洞口间高程路线长度 (km)	每千米高程测量偶然中误差 (mm)
洞外	二	>36	≤1.0
	三	13~36	≤3.0
	四	5~13	≤5.0
	五	<5	≤7.5
洞内	二	>32	≤1.0
	三	11~32	≤3.0
	四	5~11	≤5.0
	五	<5	≤7.5

6.4.3 GPS 控制测量误差引起的隧道横向贯通中误差可按下列方法估算：

1 控制测量前，应按（6.4.3-1）式估算测量设计的验前横向贯通中误差。

$$M^2 = m_J^2 + m_C^2 + \left( \frac{L_J \cos \theta \times m_{\alpha_J}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{L_C \cos \varphi \times m_{\alpha_C}}{\rho} \right)^2 \quad (6.4.3-1)$$

式中  $m_J$ 、 $m_C$ —进、出口 GPS 控制点的 Y 坐标误差；  
 $L_J$ 、 $L_C$ —进、出口 GPS 控制点至贯通点的长度；

$m_{aj}$ 、 $m_{ac}$ —进、出口 GPS 联系边的方位中误差；

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

2 控制测量后，应按（6.4.3-2）式估算控制测量的验后横向贯通中误差。  
验后贯通误差应满足本规范表 6.1.4 的规定。

$$M^2 = \sigma_{\Delta x}^2 \cos^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta y}^2 \sin^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta x \Delta y} \sin 2\alpha_F \quad (6.4.3-2)$$

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

$\alpha_F$ —贯通面方位角。

6.4.4 导线网、三角形网误差引起的横向贯通中误差可按下列方法估算：

1 控制测量前，应按（6.4.4-1）式估算测量设计的验前横向贯通中误差。

$$M = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yl}^2} \quad (6.4.4-1)$$

$m_{y\beta}$  按（6.4.4-2）式计算：

$$m_{y\beta} = \frac{m_\beta}{\rho''} \sqrt{\Sigma R_x^2} \quad (6.4.4-2)$$

$m_{yl}$  按（6.4.4-3）式计算：

$$m_{yl} = \frac{m_l}{l} \sqrt{\Sigma d_y^2} \quad (6.4.4-3)$$

式中  $m_{y\beta}$ —测角误差影响在贯通面上的横向中误差（mm）。

$m_{yl}$ —测边误差影响在贯通面上的横向中误差（mm）。

$m_\beta$ —控制网设计的测角中误差（"）。

$R_x$ —控制网各点至贯通面的垂直距离（m）。

$m_l/l$ —控制网设计的边长相对中误差。

$d_y$ —控制网各边在贯通面上的投影长度（m）。

2 控制测量后，应按（6.4.4-1）式估算控制测量的验后横向贯通中误差。  
验后横向贯通误差应满足本规范表 6.1.4 的规定。

6.4.5 采用三角形网进行条件平差时，控制测量误差引起的验后横向贯通中误差可按（6.4.5-1）式计算：

$$M = \sqrt{M_r^2 + M_b^2} \quad (6.4.5-1)$$

式中： $M_r$ —由于方向测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差（mm）；

$M_b$ —由于起始边测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差（mm）。

1  $M_r$  应按下式计算：

$$M_r = \frac{m_r}{\rho''} \sqrt{\frac{1}{P_\phi}} \quad (6.4.5-2)$$

式中  $m_r$ —方向观测中误差（"），可在平差计算成果中摘取；

$\rho$ —206265（"）；

$1/P_\phi$ —平差后求得的方向测量误差对横向贯通误差影响的权倒数。

2  $M_b$  应根据控制网起始边布设方式按（6.4.5-3）、（6.4.5-4）式计算。

（1）当控制网布设一条起始边时：

$$M_b = (y_c - y_j) \frac{m_b}{b} \quad (6.4.5-3)$$

式中  $y_c$ 、 $y_j$ —三角锁出口、进口控制点 C 和 J 的横坐标 (m);

$m_b/b$ —起始边边长相对中误差。

(2) 当控制网布设两条起始边时:

$$M_b = \sqrt{F_{b1}^2 m_{b1}^2 + F_{b2}^2 m_{b2}^2} \quad (6.4.5-4)$$

式中  $m_{b1}$ 、 $m_{b2}$ —起始边边长中误差 (mm);

$F_{b1}$ 、 $F_{b2}$ —起始边边长误差对贯通精度的影响系数, 可从条件平差表格中直接摘取。

6.4.6 洞外、洞内高程控制测量误差产生的高程贯通中误差应按 (6.4.6) 式计算:

$$M_{\Delta h} = m_{\Delta} \sqrt{L} \quad (6.4.6)$$

式中  $m_{\Delta}$ —每千米水准测量偶然中误差 (mm);

$L$ —洞外或洞内高程路线长度 (km)。

6.4.7 洞外控制网的布设应符合下列规定:

1 洞外平面控制网应沿两洞口连线方向布设成多边形组合图形, 构成闭合检核条件。

2 控制点应布设在视野开阔、通视良好、土质坚实、不易破坏的地方。

3 视线应离开旁遮障碍物 1m 以上, 通过水田、沙滩时, 应适当增加视线高度。

4 隧道进、出口的中线控制桩或 CPI、CPII 应纳入隧道控制网。

6.4.8 洞口控制点布设应符合下列要求:

1 每个洞口平面控制点布设应不少于 3 个, 水准点不少于 2 个。

2 用于向洞内传递方向的洞外联系边不宜小于 500m。

3 洞口平面控制点应便于向洞内引测导线。

4 GPS 控制网进洞联系边最大俯仰角不宜大于 5°; 导线网、三角形网的不宜大于 15°。

5 洞口 GPS 控制点应方便用常规测量方法检测、加密、恢复和向洞内引测。洞口子网各控制点间应尽量通视。

6 洞口附近的水准点应尽可能与隧道洞口等高, 两水准点间高差以水准测量 1~2 站即可联测为宜。

6.4.9 利用原控制点增设新点时, 应对原控制点进行检测, 检测精度不应低于原测精度, 检测与原测较差应符合下列规定:

1 平面控制点角度、边长检测较差的限差应按下列式计算:

$$f_{\text{限}} = 2\sqrt{m_1^2 + m_2^2} \quad (6.4.9)$$

式中  $m_1$ 、 $m_2$ —分别为原测、检测的测边或测角中误差。

2 利用原水准点增设新点时, 应检测相邻测段高差或相邻水准点间的高差。测段高差的检测限差应符合本规范表 4.2.1 的规定。

3 当检测与原测成果较差满足限差要求时, 采用原测成果; 不满足限差要求时, 应分析超限原因。确因点位位移, 应逐级检测至稳定控制点。

6.4.10 洞外 GPS 平面控制网的测量应符合下列规定:

1 GPS 控制网应由洞口子网和子网之间的联系主网组成。洞口子网一般应布设成大地四边形，联系边应为直接观测边，进出口联系网宜在不同时段进行观测。当洞口子网采用 GPS 测量困难时，可测量一条 GPS 定向边，洞口子网的其他控制点可采用全站仪测量。

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

6.4.11 洞外导线控制网测量应符合下列要求：

- 1 导线网应布设成多边形闭合环，每个导线环由 4~6 条边构成。
- 2 导线边长应根据隧道长度和辅助导坑的数量及分布情况，结合地形条件和仪器测程确定，宜采用长边。

3 控制网观测应选择在成像清晰稳定的时间内进行。在地形和地面条件复杂、旁折光影响较大的地方，应选择最有利的观测时间观测。导线观测的各项技术要求应满足本规范第 3.1.6 条的规定。

6.4.12 三角形网测量应符合下列要求：

- 1 三角形网应布设成线形三角锁或大地四边形，宜采用边角网进行观测。
- 2 控制网观测的各项技术要求应满足本规范第 3.1.7 条的规定。

6.4.13 洞外高程控制测量应根据本规范表 6.4.2-2 确定的精度等级，按本规范第 4 章的规定执行，各等级水准测量的限差应符合本规范表 4.2.1 规定。山区水准测量平均每千米单程测站大于 25 站时，测段往返测高差不符值应符合表 6.4.13 的规定。

表 6.4.13 往返测高差不符值的限差(单位：mm)

水准测量等级	测段往返测高差不符值限差
二	$0.8\sqrt{n}$
三	$2.4\sqrt{n}$
四	$4.0\sqrt{n}$
五	$6.0\sqrt{n}$

注：表中  $n$  为两水准点间单程测站数。

6.4.14 洞外控制测量完成后，应按第 6.4.3~6.4.6 条的规定估算洞外控制测量引起的贯通误差，其估算值应满足表 6.1.4 的规定。

6.5 洞内控制测量

6.5.1 洞内平面控制测量应采用导线控制测量方法进行。洞内控制导线应从测量设计确定的洞外联系边引入，洞内洞外平面控制网宜以边连接。

6.5.2 洞内导线测量精度应符合表 6.5.2 规定：

表 6.5.2 洞内导线测量精度要求

测量等级	适用长度 (km)	测角中误差 (")	边长相对中误差
二	9~20	1.0	1/100000
隧道 2 等	6~9	1.3	1/100000
三	3~5	1.8	1/50000
四	1.5~4	2.5	1/50000
一级	<1.5	4.0	1/20000

**6.5.3 洞内导线的布设应符合下列要求:**

- 1 导线边长应根据测量设计确定。
- 2 导线点应布设在施工干扰小、稳固可靠、便于设站的地方，点间视线应旁离洞内设施 0.2m 以上。
- 3 洞内导线应布设成多边形闭合环，每个环由 4~6 条边构成。长隧道宜布设成交叉双导线形式，以增加网的内部检核条件、提高网的可靠性。

**6.5.4 导线测量前，应对原控制点进行检测，检测较差应符合第 6.4.9 条的规定:**

6.5.5 洞内导线测量的精度应不低于测量设计时确定的精度等级，并应有安全可靠的防爆措施，必要时应采用防爆仪器观测。

**6.5.6 导线水平角观测除按本规范表 3.1.6-1、表 3.1.6-3 的规定执行外，还应符合下列要求:**

- 1 洞口站测角工作宜在夜晚或阴天进行。
- 2 洞内测量前应先将仪器开箱放置 20 分钟左右，让仪器与洞内温度基本一致。
- 3 目标应有足够的明亮度，受光均匀柔和、目标清晰，避免光线从旁侧照射目标。
- 4 完成规定测回数一半后，仪器和反射镜均应转动 180°重新对中整平，再观测剩余测回数。

**6.5.7 导线边长测量除应满足本规范表 3.1.6-1、表 3.1.6-4、表 3.1.6-5 要求外，还应满足下列要求:**

- 1 测量前应进行充分通风、避免尘雾。
- 2 反射镜应有适度照明。
- 3 仪器和反射镜面应无水雾。

6.5.8 洞内导线应随施工进度分期布设，建立新一期导线前，应按第 6.5.4 条检测原有控制点。

6.5.9 单口掘进 5km 和 10km 左右时，可加测方位精度不低于 5"的陀螺定向边，以检核洞内导线。

**6.5.10 洞内导线平差计算应符合下列要求:**

- 1 初次洞内导线测量的起算坐标和方位角应采用测量设计时确定的进洞联系边测量成果。
- 2 洞内导线引伸测量的起算坐标和方位角应采用经检测合格的前一期洞内导线测量成果。
- 3 洞内四等及以上导线平差应采用严密平差，一级导线可采用近似平差。

6.5.11 完成洞内导线平差计算后，应计算开挖面附近的临时中线点放样成果并实地放设，即时纠正施工中线。

6.5.12 洞内高程测量的精度应满足表 6.5.12 的要求。

**表 6.5.12 洞内高程控制测量精度要求**

测量等级	两开挖洞口间高程路线长度 (km)	每千米高程测量偶然中误差 (mm)
二	>32	≤1.0
三	11~32	≤3.0
四	5~11	≤5.0
五	<5	≤7.5

6.5.13 洞内高程测量应采用水准测量进行往返观测，并应符合下列规定:

- 1 高程控制点应每隔 200~500m 设置一对。

2 高程控制测量的主要技术要求及观测限差应分别符合本规范表 4.2.1、表 4.2.2 和表 4.2.6 的规定。

3 高程控制测量应按本规范式 (6.4.6) 估算精度。

6.5.14 洞内高程控制点应结合地质条件、施工方法和施工进度定期复测。建立新一期高程控制点前应检测起算高程点。检测已测测段高差之差应满足表 4.2.1 的规定。

6.4.15 洞内平面、高程控制点应妥善保护, 隧道竣工后应与隧道内 CPII 控制点和水准点联测。

## 6.6 施工测量

**6.6.1 洞内施工中线测设应符合下列规定:**

1 采用导线测设中线点, 一次测设不应少于 3 个, 并相互检核。

2 采用独立中线测设中线点, 直线上应采用正倒镜法延伸直线; 曲线上宜采用偏角法测设。

3 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; 曲线上可用偏角法测设。

4 掘进用的临时中线点可采用串线法延伸标定。串线长度直线段不大于 30m, 曲线段不大于 20m。

5 全断面开挖的施工中线可先用激光导向, 后用全站仪、光电测距仪测定。

6 采用上下半断面施工时, 上半断面每延伸 90~120m 时应与下半断面的中线点联测, 检查校正上半断面中线。

6.6.2 洞内中线点宜采用混凝土包桩, 严禁包埋木板、铁板和在混凝土上钻眼。设在顶板上的临时点可灌入拱部混凝土中或打入坚固岩石的钎眼内。

6.6.3 当曲线隧道设有导坑时, 可根据隧道中线和导坑的横移偏移距离, 按一定密度计算导坑中线的坐标, 放设导坑中线, 指导导坑开挖。

**6.6.4 洞内高程测量应符合以下规定:**

1 洞内高程测量应根据洞内高程控制点引测加密。加密点可与永久中线点共桩。

2 采用光电测距三角高程测量施工高程时, 宜变换反射器高测量两次或利用加密点作转点闭合到已知高程点上。

**6.6.5 洞内开挖测量应按下列要求进行:**

1 每次钻爆前, 应在开挖断面上标示隧道中线、轨顶高程线和开挖断面轮廓线。

2 已开挖段, 应即时测量开挖断面, 绘制开挖断面图, 开挖断面的测量间距不宜大于 20m。

3 断面测量可采用自动断面仪法、全站仪极坐标法、断面支距法等方法。

4 当采用支距法测量断面时, 应按中线和外拱顶高程从上到下每 0.5m (拱部和曲墙) 和 1.0m (直墙) 间隔分别测量中线左右侧相应高程处的支距, 并应考虑曲线隧道的中线内移值、设计加宽值、施工误差预留值。

5 仰拱断面测量, 应从隧道中线向两侧边墙按 0.5m 间隔测量设计轨顶线至开挖仰拱底的高差。

**6.6.6 衬砌测量应按以下要求进行:**

1 立模前, 应利用洞内控制点检查永久中线点或临时中线点位置及高程。检测与原测成果较差不应大于 5mm。

2 检测合格后，在立模范围内放设不少于三个中线点及其横断面十字线方向，同时在断面上标定出拱架顶、起拱线和边墙底的高程位置。

3 立模后应再一次检查校正模板。

6.6.7 竖井联系测量包括井上井下趋近导线测量、竖井定向测量、高程传递测量、井上井下趋近水准测量。竖井定向测量宜采用垂准仪和陀螺经纬（全站）仪联合定向、联系三角形定向、钻孔投点定向等方法。高程传递测量宜采用钢尺（钢丝）法、光电测距仪导高法。

## 6.7 隧道贯通误差测量及调整

6.7.1 隧道贯通后，应分别按下述方法测定实际贯通误差：

1 洞内采用中线法测量的隧道，应从两相向开挖方向向贯通面引伸中线确定各自的贯通点，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 洞内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的坐标，其坐标较差分别投影至线路中线及其垂直的方向上，即为纵向和横向贯通误差。同时测量该点的水平角，求得方向贯通误差。

3 由两端高程点分别测量贯通面处临时点的高程，其高程差即为高程贯通误差。

6.7.2 实际贯通误差宜在未衬砌地段（调线地段）调整。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。

6.7.3 贯通误差应以满足线路设计规范和轨道平顺性要求为原则进行调整。调整后的线路应满足隧道建筑限界要求。

6.7.4 隧道平面贯通误差调整应符合下列规定：

1 贯通误差 $\leq 50\text{mm}$ 时，在保证隧道建筑限界要求的条件下，可不调整线路中线，按设计线位铺轨。

2 贯通误差 $>50\text{mm}$ 时，应采用洞内 CPIII 控制网实测隧道中线，采用线位拟合法进行调整，调整后的线路应满足轨道平顺性标准和隧道建筑限界的要求。

6.7.5 高程贯通误差应按下列方法调整：

1 由两端测得的贯通点高程，应取两贯通高程的平均值作为调整后的贯通面高程；

2 高程贯通误差调整可按贯通误差的一半，分别在两端未衬砌地段，以未衬砌段的线路长度按比例调整其范围内各水准点高程；

3 以调整后的水准点高程作为未衬砌段高程放样的依据；

4 调整后的线路应满足线路设计和验收规范要求。



## 6 隧道测量条文说明

6.1.1 GPS 测量可以大大减轻测量人员劳动强度，提高工作效率。除洞口子网控制点间要求通视外，主网控制点间无通视要求，避免砍伐树林。因此，隧道平面控制网宜优先采用 GPS 测量。隧道洞口布设 GPS 特别困难时，可以只布设一条 GPS 定向联系边，用于向洞内传算洞外测量成果。但为满足施工测量需要，洞口不能少于三个平面控制点，在这种情况下，可以选布并增设两个导线点，与 GPS 定向联系边一起构成洞施工控制网，GPS 与常规测量则为条文中规定的综合测量。

6.1.2 长大隧道中间一般为长直线，其坐标系的建立宜以隧道长直线为 X 轴，里程增加方向为 X 轴正方向，X 坐标即为相应的线路里程；曲线隧道当隧道内夹直线较长时，宜以夹直线为 X 轴；隧道主要在曲线上时，可选取其中的一条切线为 X 轴。位于 X 轴上的直线段的中线坐标成果可以直观地反映施工的里程及偏离中线的距离。

6.1.4 本次修订，对原贯通误差影响值进行了重新规定。

说明如下：原规范规定隧道贯通误差值如下表：

说明表 6.1.4-1 原规范规定的隧道贯通中误差（mm）

测量部位	横向贯通中误差						高程贯通中 误差（mm）
	相邻两开挖洞口间长度（km）						
	<4	4~7	7~10	10~13	13~17	17~20	
洞外影响值（mm）	30	45	60	90	120	150	18
洞内影响值（mm）	40	60	80	120	160	200	17
洞外洞内总影响值（mm）	50	75	100	150	200	250	25

本规定源于《铁路测量技术规则》第三篇〈隧道测量〉，是通过对去施工的隧道实际贯通误差的统计得出的，其统计成果如说明表 6.1.4-2，编写中作了适当调整。

说明表 6.1.4-2 原测规统计的隧道高程贯通情况

实际贯通误差	0~10	11~20	21~25	26~40	41~51	>50	总和
座数	35	29	11	11	2	4	92
%	38	31	12	12	2.2	4.3	100

从说明表 6.1.4-2 可以看出，大多数隧道的实际横向贯通误差都小于按理论计算出的贯通误差。因此，原规范规定的贯通误差值也是合理、可行的。

需要说明的是，统计的这些隧道大多增设有斜井、横洞或竖井，实际增加了作业面。8km 以上的隧道真正两头独打的不多，因而反映出实际横向贯通精度有所提高。

由于测量设备、测量方法较过去有了较大的变化，尤其是 GPS 测量技术的应用，大大减轻了测量人员的劳动强度，提高了隧道洞外控制网的测量精度。为体现这一技术的优越性，本次修订增加了隧道使用 GPS 测量技术的条文。同时也重新修订了相应的横向贯通误差影响值。高程贯通误差沿用原规范规定。

# 1 洞外（GPS 测量）横向贯通误差估算：

1) 洞外横向贯通误差影响值主要根据 GPS 测量的洞口联系边测量精度及其定位点坐标精度，通过下式求得。

$$M^2 = m_J^2 + m_C^2 + \left( \frac{L_J \cos \theta \times m_{\alpha_J}}{\rho} \right)^2 + \left( \frac{L_C \cos \varphi \times m_{\alpha_C}}{\rho} \right)^2 \quad (\text{说明 6.1.4-1})$$

式中，后两项也可以由下式算得。

$$m_{\text{洞外定向}} = \frac{\sqrt{2}}{2} \cdot \frac{m_G}{\rho} \cdot L \quad (\text{说明 6.1.4-2})$$

式中  $m_{\text{洞外定向}}$ —GPS 方向误差对贯通误差的影响；

$m_G$ —GPS 测量定向联系边方向误差（"），为隧道设计时的先验值， $\rho=206265''$

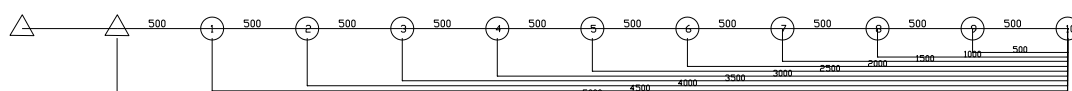
$L$ —相向开挖隧道计算设计长度，考虑到洞外 GPS 控制点位（引测边）布设离洞口有一定距离的因素，取隧道线路长度加 1km。

2) 鉴于山岭隧道测量的复杂性和特长隧道距离远等因素，控制点间 Y 坐标误差按经验值取为 20mm（也可根据隧道长短酌取）。

## 2 隧道的洞内导线测量误差按下列因此考虑：

### 1) 洞内导线测角引起的贯通误差：

一端洞内导线，按等边直伸导线估算的导线终点由测角引起的点位横向误差由下式计算：



$$\begin{aligned} m_q^2 &= \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \sum R_x^2 \\ &= \frac{m_\beta^2}{\rho^2} s^2 \left[ \frac{1}{6} n \cdot (n+1) \cdot (2n+1) \right] \quad (\text{说明 6.1.4-3}) \\ &= \frac{m_\beta^2}{\rho^2} \left[ \frac{1}{6} L' \cdot (L'+s) \cdot (2L'/s + 1) \right] \end{aligned}$$

式中  $m_q$ —直伸导线终点由测角误差引起的横向点位误差；

$m_\beta$ —测角误差（"）； $\rho=206265''$ ；

$R_x^2$ —导线点距离导线终点的距离；

$s$ —每条导线边距离；

$n$ —导线点数（ $=L/s$ ）；

$L'$ —导线总长度。

顺便指出，上述公式计算出的直伸导线端点横向误差是严密的。

隧道两端相向掘进，取等影响，则共同构成误差：

$$m_{\text{洞内测角}}^2 = 2m_q^2 \quad (\text{说明 6.1.4-4})$$

### 2) 洞内导线测边引起的贯通误差

这里取曲线起点偏离中线纵向 1.5km（相当大的曲线）；按每条 150m 长的导线边在横向（贯通面上）的投影 75m 计，共计 20 条边；每条边按 2mm+2ppm 计算测距误差，则每条边的测距误差为 2.3mm，测距误差两端总计：

$$m_l = m_s \sqrt{n} \times \sqrt{2} = 2.3 \times \sqrt{20} \times \sqrt{2} = 15mm$$

可见能控制在 20mm 内；贯通误差估算时取 20mm。

地表采用 GPS 控制测量时，不同隧道长度的洞外、洞内结横向贯通中误差如说明表 6.1.4-3。

说明表 6. 1. 4-3 洞外 GPS 控制测量不同隧道长度的洞外、洞内横向贯通中误差

隧道长度(km)	计算长度(km)	洞内（mm）						洞外（mm）				误差分析（mm）				分配后（mm）			
		测角精度（"）	洞内边长（m）	测角误差	取两组导线误差	测距误差	洞内误差	定向精度（"）	定向误差	坐标误差	洞外误差	总中误差	现允许误差	拟允许误差1	洞内分配值	洞外分配值	洞内应达	洞外应达	总误差
1	2	2.5	150	28	20	20	28	1.7	12	20	23	37	50	50	40	30	40	30	50
2	3	2.5	200	45	32	20	37	1.7	17	20	27	46	50	50	40	30	40	30	50
3	4	1.8	250	44	31	20	37	1.3	18	20	27	46	50	50	40	30	40	30	50
4	5	1.8	300	56	40	20	44	1.3	22	20	30	54	50	50	40	30	40	30	50
5	6	1.8	400	64	46	20	50	1.3	27	20	33	60	75	65	50	40	51	42	64
6	7	1.3	400	58	41	20	46	1.3	31	20	37	59	75	65	50	40	51	42	64
7	8	1.3	400	70	49	20	53	1.3	36	20	41	67	75	65	50	40	51	42	64
8	9	1.3	500	75	53	20	57	1.3	40	20	45	72	100	75	60	45	60	45	75
9	10	1.3	500	87	62	20	65	1	34	20	40	76	100	75	65	35	66	37	74
10	11	1	500	77	55	20	58	1	38	20	43	72	100	75	60	45	60	45	75
11	12	1	500	87	62	20	65	1	41	20	46	79	150	100	75	50	87	66	90
12	13	1	500	98	69	20	72	1	45	20	49	87	150	100	75	50	87	66	90
13	14	1	500	109	77	20	80	1	48	20	52	95	150	100	80	55	84	60	97
14	15	1	500	121	85	20	88	1	51	20	55	104	200	120	95	60	104	73	112
15	16	1	500	133	94	20	96	1	55	20	58	112	200	120	100	60	104	66	117
16	17	1	500	145	102	20	104	1	58	20	62	121	200	120	105	65	101	58	123
17	18	1	500	157	111	20	113	1	62	20	65	130	250	150	120	70	133	90	139
18	19	1	500	170	120	20	122	1	65	20	68	140	250	150	130	75	130	75	150
19	20	1	500	184	130	20	131	1	69	20	71	150	250	150	135	75	130	65	154
20	21	1	500	197	139	20	141	1	72	20	75	159	250	180	160	80	161	82	179

上表中，将计算的贯通值取整为 5mm 的整倍数。按贯通中误差大致相近，将 0~20km 长的隧道分为 7 个区段，每个区段取该段内相应洞外、洞内贯通中误差影响最大值作为该区段洞外洞内允许横向贯通中误差，以此反算总的横向贯通中误差并取整致 5mm，得到条文规定的新的隧道贯通中误差允许值。

近几年已经贯通的 7km 以上的部分铁路和公路隧道横向和高程贯通误差统计分别如说明表 6.1.4-4、明表 6.1.4-5。

**说明表 6.1.4-4 最近几年铁路、公路长隧道平面实际贯通情况**

线路名	隧道名	隧道长度 (m)	横向贯通误差 (mm)
西康铁路	秦岭特长隧道	18448	12
朔黄铁路	长梁山隧道	12800	36
西南铁路	东秦岭隧道	12286	6
西康公路	终南山公路隧道下行线	18000	7.6
渝怀线	沙坝隧道	7972	36
台缙高速公路	苍岭隧道	7536	16

**说明表 6.1.4-5 最近几年铁路、公路长隧道高程实际贯通情况**

线路名	隧道名	隧道长度 (m)	高程贯通误差 (mm)
西康铁路	秦岭特长隧道	18448	1
内昆铁路	黄荆坝隧道	3230	13
内昆铁路	马蹄石隧道	2946	30
朔黄铁路	长梁山隧道	12800	35
西南铁路	东秦岭隧道	12286	5
渝怀线	沙坝隧道	7972	1
兰武复线	乌鞘岭隧道	20050	4

说明表 6.1.4-4 部分隧道是采用 GPS 控制测量的。

本次修订没有给出相向开挖长度大于 20km 隧道的贯通误差规定。一方面是因为目前很多长隧道采取长隧短打方式进行，另一方面，真正相向开挖长度超过 20km 的铁路隧道还没有相应的贯通误差值可以参考。因此，规定相向开挖长度超过 20km 的长大隧道的贯通误差需作专门设计。

对于设有竖井并通过竖井进行贯通的隧道，本规范没有对此作出贯通误差规定，主要是因为铁路隧道采用竖井施工很少，能搜集到的有关实测精度资料极少，因此缺少这方面的分析资料。本次修订，尚不具备制订竖井联系测量的贯通中误差分配条件。当采用这种测量方式测量时，宜进行专业的设计论证。

对于竖井测量，现阶段已经采用的和可能采用的测量技术包括：1、传统的钢丝投点联系测量；2、光学投点、陀螺仪定向联系测量。本规范仅给出这两种测量方式的作业规定。

#### 6.1.5 铁路隧道施工测量的主要目的是保证隧道相向开挖能按规定精度正确贯通。

隧道测量设计包括隧道控制测量方法设计、控制网网形设计、测量精度设计以及隧道贯通误差估算等。洞外控制测量完成后，根据实测精度估算隧道洞外贯通误差；确定隧道洞内控制网的角度和边长测量精度。

隧道能否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，线路坡度  $i$  的计算式为：

$$i = h/S \times 1000\%$$

式中  $h$ 、 $S$ —两点间的高差及水平距离。

为分析纵向贯通误差对线路坡度的影响，对上式全微分，则：

$$di = dh / S * 1000‰ - h dS / S^2 * 1000‰$$

当只考虑纵向贯通误差  $dS$  时，假设可以忽略的坡度影响为  $0.001‰$ ，即  $100m$  的水平距离允许的高差为  $\pm 0.1m$ ，可认为：

$$0.001‰ = h \cdot dS / S^2 * 1000‰$$

$$dS = S^2 / 1000000 h$$

当隧道内的坡度为  $3‰$ ，即  $h/S=3/1000$  时，则  $dS=S/1000000*1000/3=S/3000$ 。

由上式可知，隧道长  $300$  米时，允许纵向贯通误差  $0.1m$ ，隧道长  $3000m$  时，允许纵向贯通误差  $1m$ 。从目前铁路山岭隧道贯通的实际情况看，纵向贯通误差均小于按上式计算的结果。因此，纵向贯通误差一般情况不会给设计坡度和工程建设造成不利影响。

方向贯通误差主要影响线路的平面形状。时速  $200km$  以下的铁路，直线隧道的方向贯通误差在  $5'$  以内时仍可作为直线线路考虑；当方向贯通误差在  $5' \sim 25'$  时，可按顶点内移量考虑衬砌位置和线路内移量；当方向贯通误差大于  $25'$  时，可加设大半径曲线。对于曲线隧道则可采用加、减曲线长度或改变曲线起终点的方法调整。

高程贯通误差主要影响线路的坡度。对于  $500m$  长的隧道，高程贯通限差  $50mm$  时，调整后约影响坡度  $0.1‰$ 。这种情况几乎不影响原设计，更不会在施工中造成困难。从目前各单位使用的仪器、设备情况、测量技术水平来看，高程贯通限差  $\pm 50mm$  对一般的长隧道都不难满足。

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，隧道侵入建筑限界，迫使炸毁大段衬砌，造成返工浪费，并使工期延误。

总之，在纵向、横向、方向和高程几项贯通误差中，关键的是横向贯通误差和高程贯通误差，所以在隧道测量中主要以横向贯通误差和高程贯通误差作为衡量贯通精度的主要尺度而加以规定。

关于进行隧道平面控制测量设计并计算贯通误差的隧道长度规定说明如下：

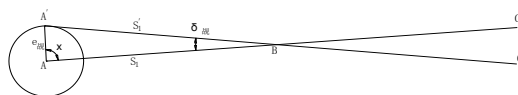
过去的铁路线路测量一般采用正倒镜法延长直线或切线，仅在交点上测偏角。曲线测设多采用偏角法。这种测量模式用于隧道洞外、洞内测量时产生的测量误差分析如下：

(1) 正倒镜法的角度差分析：

1) 照准误差  $m_{照}$

光照明亮时： $m_{照}=30''/V$ ；光照阴暗时  $m_{照}=50''/V$

式中  $V$  为望远镜放大倍率，对  $J_2$  级经纬仪  $V$  值为  $30$ 。



说明图 6.1.5-1

2) 觐标偏心误差

如说明图 6.1.5-1 所示， $B$  为置镜点， $A$  为后视点， $C$  为前视点。由于后视点照准目标存在  $e_{视}$  的误差，使前视点为  $C$  偏到  $C'$ ，产生了  $\delta_{觐}$  的误差。而点  $A'$  是在以  $A$  为圆心，以  $e_{视}$  为半径的圆周上移动，设其移动变异的一个微量为  $dx$ ，则圆周上所有可能位置的数目为  $n=2\pi/dx$ ，相应于  $n$  个  $A$  点位置的偏心误差数值为  $\delta_1$ 、 $\delta_2$ 、 $\delta_3$ 、..... $\delta_n$ ，它的中误差用下式表示：

$$m_{\text{觐}}^2 = \frac{[\delta_{\text{觐}}^2]}{n} \quad (\text{说明式 6.1.5-1})$$

在三角形 BAA' 中,  $\frac{e_{\text{觐}}}{S_1'} = \frac{\sin \delta_{\text{觐}}}{\sin x}$ 。

由于  $e_{\text{觐}}$  很小, 故  $\delta_{\text{觐}}$  也很小, 所以  $S_1 \approx S_1'$   
由此可得

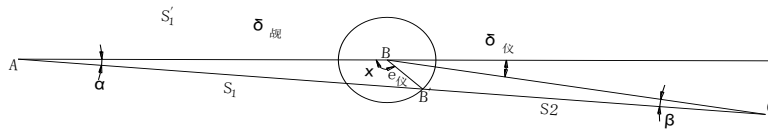
$$\delta_{\text{觐}} = \rho \frac{e_{\text{觐}}}{S_1} \sin x \quad (\text{说明式 6.1.5-2})$$

将式 (说明 4.1.1-2) 代入式 得

$$m_{\text{觐}}^2 = \frac{[\rho^2 \frac{e_{\text{觐}}^2}{S_1^2} \sin^2 x]}{\frac{2\pi}{dx}} = \rho^2 e_{\text{觐}}^2 \frac{1}{2\pi S_1^2} \sum_0^{2\pi} \sin^2 x \cdot dx = \rho^2 e_{\text{觐}}^2 \frac{1}{2\pi S_1^2} \int_0^{2\pi} \sin^2 x \cdot dx = \rho^2 e_{\text{觐}}^2 \frac{1}{2S_1^2}$$

故

$$m_{\text{觐}} = \frac{\rho e_{\text{觐}}}{\sqrt{2} S_1} \quad (\text{说明式 6.1.5-3})$$



说明图 6.1.5-2

### 3) 仪器偏心误差 $m_{\text{仪}}$

由说明图 6.1.5-2 可知:

$$\delta_{\text{仪}} = \alpha + \beta \quad (\text{说明式 6.1.5-4})$$

$$\frac{e_{\text{仪}}}{S_1} = \frac{\sin \alpha}{\sin x}$$

因  $\alpha$  很小, 故  $\alpha = \rho \frac{e_{\text{仪}}}{S_1} \sin x$ 。

又  $\delta_{\text{仪}}$  值很小, 故  $\frac{\alpha e_{\text{仪}}}{\beta S_1} \approx \frac{S_2}{S_1}$ ,  $\beta = \frac{S_2}{S_1} \alpha$ 。

因此:

$$\delta_{\text{仪}} = \alpha + \beta = \alpha + \frac{S_1}{S_2} \alpha = \alpha (1 + \frac{S_1}{S_2}) = \rho \frac{e_{\text{仪}}}{S_1} \sin x (1 + \frac{S_1}{S_2}) \quad (\text{说明式 6.1.5-5})$$

$$m_{\text{仪}}^2 = \frac{[\delta_{\text{仪}}^2]}{n} = \frac{\rho^2 \frac{e_{\text{仪}}^2}{S_1^2} (1 + \frac{S_1}{S_2})^2 [\sin^2 x]}{\frac{2\pi}{dx}} = \frac{1}{2} \rho^2 \frac{e_{\text{仪}}^2}{S_1^2} (1 + \frac{S_1}{S_2})^2$$

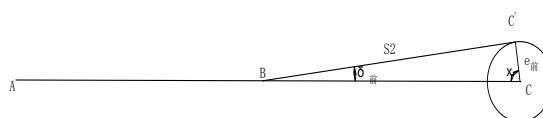
故

$$m_{\text{仪}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rho \frac{e_{\text{仪}}}{S_1} (1 + \frac{S_1}{S_2})$$

当  $S_1=S_2=S$  时

$$m_{\text{仪}} = \sqrt{2} \rho \frac{e_{\text{仪}}}{S} \quad (\text{说明 6.1.5-6})$$

4) 前点定点误差  $m_{\text{前}}$



说明图 6.1.5-3

由说明图 6.1.5-3 可知

$$\frac{e_{\text{前}}}{S_2} = \frac{\sin \delta_{\text{前}}}{\sin x}$$

因  $\delta_{\text{前}}$  很小, 故

$$\delta_{\text{前}} = \rho \frac{e_{\text{前}}}{S_2} \sin x \quad (\text{说明式 6.1.5-7})$$

$$m_{\text{前}}^2 = \frac{[\delta_{\text{前}}^2]}{n} = \frac{[\rho^2 \frac{e_{\text{前}}^2}{S_2^2} \sin^2 x]}{\frac{2\pi}{dx}} = \rho^2 \frac{e_{\text{前}}^2}{S_2^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \sin^2 x dx = \rho^2 \frac{e_{\text{前}}^2}{S_2^2} \cdot \frac{1}{2\pi} \cdot \pi = \frac{1}{2} \rho^2 \frac{e_{\text{前}}^2}{S_2^2}$$

故

$$m_{\text{前}} = \frac{1}{\sqrt{2}} \rho \frac{e_{\text{前}}}{S_2} \quad (\text{说明式 6.1.5-8})$$

5) 仪器本身误差包括:

- ①望远镜视准轴误差;
- ②横轴倾斜误差;
- ③照准部、度盘偏心误差;
- ④旋转照准部时仪器底座位移而产生的误差;
- ⑤竖直轴倾斜误差。

其中①、②、③项可以从两个盘位取平均值得到抵消; ④项一般较小, 可忽略不计; ⑤项可借助照准部水准使误差控制在一定范围内, 故略而不计。

由以上分析可知, 在作业中采用正、倒镜两个盘位分中定点时, 水平角观测值中误差为:

$$m_{\beta} = \sqrt{\frac{2m_{\text{照}}^2 + m_{\text{视}}^2 + m_{\text{前}}^2}{2}} + m_{\text{仪}}^2 \quad (\text{说明式 6.1.5-9})$$

现将各项中误差数据表列如下：

**说明表 6.1.5-1 照准误差  $m_{\text{照}}$  值**

经纬仪等级	望远镜放大倍率	$m_{\text{照}}$	
		30"/V	50"/V
DJ <sub>2</sub>	30	±1"	±1.7"

**说明表 6.1.5-2 觇标偏心误差  $m_{\text{觇}}$  值**

	50	100	200	300	400	500
2mm	±5.8"	±2.9"	±1.5"	±1.0"	±0.7"	±0.6"
3mm	±8.82"	±4.4"	±2.2"	±1.5"	±1.1"	±0.9"

**说明表 6.1.5-3 仪器偏心误差  $m_{\text{仪}}$  值**

	50	100	200	300	400	500
2mm	±5.8"	±2.9"	±1.5"	±1.0"	±0.7"	±0.6"
3mm	±11.7"	±5.8"	±3.0"	±2.0"	±1.5"	±1.2"

**说明表 6.1.5-4 前点定点误差  $m_{\text{前}}$  值**

	50	100	200	300	400	500
2mm	±5.8"	±2.9"	±1.5"	±1.0"	±0.7"	±0.6"

(2) 敷设中线法所适用的直线隧道长度分析

假设洞内、洞外导线均为等边直伸导线。洞内导线边长为 100m，洞外导线边长为 200m。

觇准点用光学对中，即  $e_{\text{觇}}=2\text{mm}$ ， $e_{\text{前}}=2\text{mm}$ 。经纬仪采用 J2 级，按式（说明 6.1.5-9）求算的洞内、洞外的测角中误差为：

$$m_{\beta_{\text{洞外}}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.2^2 + 1.5^2 + 1.5^2}{2}} + 1.5^2 = \pm 2.4''$$

$$m_{\beta_{\text{洞内}}} = \sqrt{\frac{2 \times 2.0^2 + 1.5^2 + 1.5^2}{2}} + 1.5^2 = \pm 2.9''$$

由于洞内、外导线测量误差所产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{\beta_{\text{洞外}}} = \frac{m_{\beta_{\text{洞外}}}}{\rho} \cdot L \sqrt{\frac{(n-1)(n-2)}{12n}}$$

$$m_{\beta_{\text{洞内}}} = \frac{m_{\beta_{\text{洞内}}}}{\rho} \cdot L \sqrt{\frac{(K+1)(K+2)}{12K}}$$

式中  $L$ —隧道长度 (m)；

$n$ —洞外导线总边数

$K$ —洞内导线总边数

对于 1500m 长的直线隧道，由于洞内、外导线测量误差所产生在贯通上的



横向中误差为：

$$m_{\beta\text{洞外}} = \frac{2.4}{206265} \cdot 1500 \cdot \sqrt{\frac{(8-1)(8-2)}{12 \cdot 8}} = \pm 12.0\text{mm}$$

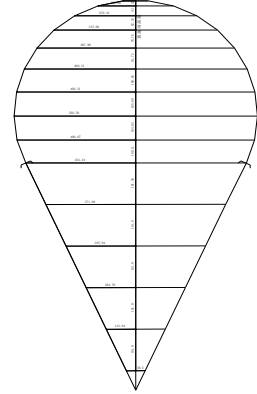
$$m_{\beta\text{洞内}} = \frac{2.9}{206265} \cdot 1500 \cdot \sqrt{\frac{(15+1) + (15+2)}{12 \cdot 15}} = \pm 26\text{mm}$$

$$m = \sqrt{m_{\beta\text{洞外}}^2 + m_{\beta\text{洞内}}^2} = \sqrt{12^2 + 26^2} = \pm 29\text{mm} < 50\text{mm}$$

从上述分析可知，当使用的经纬仪精度不低于  $J_2$  级，觇准目标用光学对中，洞外导线边长不短于 200m，洞内导线连长不短于 100m 时，采用敷设中线法测量所适用的直线隧道长度为 1500m 以内。故条文规定：凡直线隧道长度大于 1500m，根据横向贯通精度要求进行隧道平面测量设计。

(3) 敷设中线法适合的曲线隧道长度。

现行线路设计规范规定的最小曲线半径为 500m，假设隧道全长 1500m，并且全为圆曲线。隧道洞外测量采用正倒镜法延长切线，洞内测量采用偏角法测设中线。导线布置如说明图 6.1.5-4。



说明图 6.1.5-4

1) 洞外切线测量误差对横向贯通精度的影响

设该曲线以  $J_2$  型仪器施测，并在切线上每 200 米设置转点，其测角中误差  $m_\beta = \pm 2.72''$ ，测距误差按 1/20000。

由测角误差产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{y\beta} = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2} = \frac{2.72}{\rho} \sqrt{903710} = \pm 13\text{mm}$$

由测距误差产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{yl} = \frac{m_l}{l} \sqrt{\sum d_y^2} = \frac{1}{20000} \sqrt{327610} = \pm 29\text{mm}$$

则洞外测量的综合贯通误差：

$$m_{\text{洞外}} = \sqrt{13^2 + 29^2} = \pm 32\text{mm}$$

2) 洞内曲线测量对横向贯通精度的影响

洞内曲线采用偏角法测设是方向与距离的交会，这不同于一般的导线测设，但转点的设置仍然按转点偏角方向拨角、量边，这实质还是导线问题，故洞内曲线测量对横向贯通精度的影响仍按导线进行分析。

洞内曲线段导线边长按 100m 设计。曲线上各转点的测角中误差综合考虑为  $\pm 4''$ ，导线测距误差采用 1/20000。

由测角误差产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{y\beta} = \frac{m_\beta}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2} = \frac{4}{\rho} \sqrt{2638222} = \pm 32\text{mm}$$

由测距误差产生在贯通面上的横向中误差为：

$$m_{yl} = \frac{m_l}{l} \sqrt{\sum d_y^2} = \frac{1}{20000} \sqrt{126266} = \pm 17mm$$

则洞内测量的综合贯通误差:

$$m_{\text{洞内}} = \sqrt{32^2 + 17^2} = \pm 37mm$$

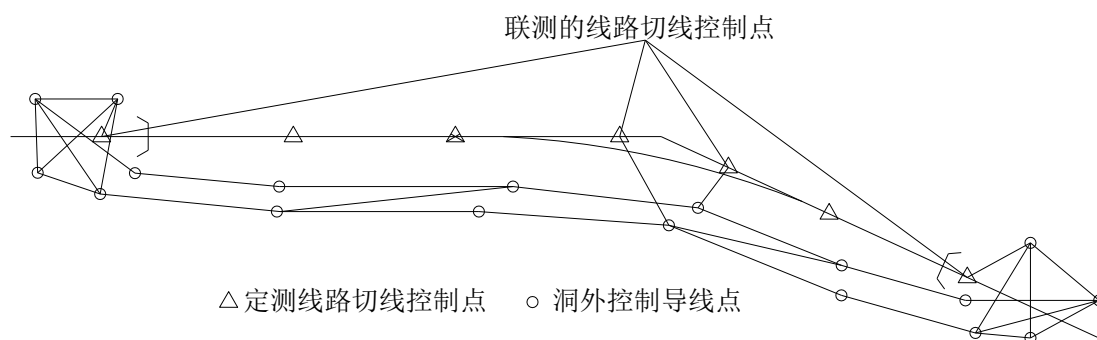
洞外、洞内测量误差所产生在贯通面上的总横向中误差:

$$m = \sqrt{32^2 + 37^2} = \pm 49mm (\pm 50mm)$$

由于目前使用的全站仪、光电测距仪的精度和稳定性都较以前有一定提高, 施工单位使用的测角仪器一般为 2" 级以上仪器。由以上分析, 当曲线半径  $R=500m$  时, 洞外导线边长直线段为 200m, 曲线段导线边长不小于 100m 时, 用中线法测设曲线隧道, 当长度在 1500m 以内时, 其贯通精度不超过设计的横向贯通中误差要求。

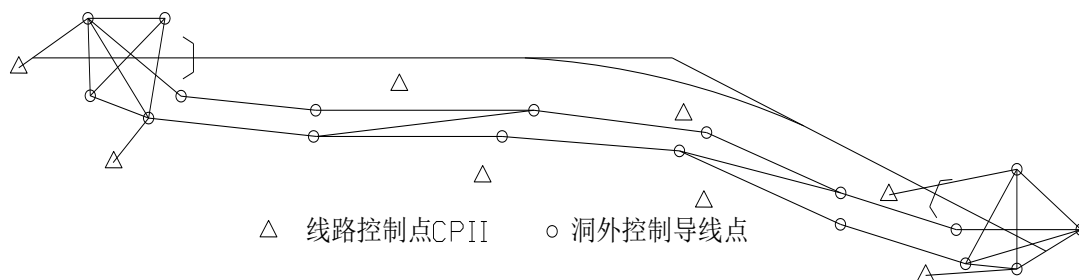
通过对直线和曲线隧道的分析, 统一规定长度小于 1500m 的直线或曲线隧道, 均按五等导线精度施测时可以不进行测量设计及贯通误差估算; 隧道长度大于 1500m 时, 则根据横向贯通精度要求进行隧道平面测量设计并估算贯通误差值。

6.1.6 在传统的定测模式下, 直线隧道控制测量一般分别选取进出口端各一个设计线路切线点纳入隧道控制网; 曲线隧道则每条切线选取两个设计线路切线控制点纳入隧道控制网。完成隧道控制测量后, 用联测的线路切线控制点坐标重新计算隧道的线路关系, 以此作为隧道施工的依据。由于测量精度不同, 隧道控制测量与线路测量必然存在差异。重新解算线路关系的过程其实质是对两者测量误差的一个调整过程。这种测量因两端线路与隧道共用了相同的设计线路切线控制点, 因此线路与隧道能正确衔接。传统模式下的洞外控制测量如下图所示。



说明图 6.1.6-1 传统设计定测模式下的洞外控制测量

在布设 CPⅡ 线路控制网的模式下, 隧道平面的位置依据 CPⅡ 控制网由理论坐标确定。布设 CPⅡ 线路控制网模式下的洞外控制测量如下图所示。



说明图 6.1.6-2 布设线路控制网 CPII 模式下的洞外控制测量

设计阶段布设线路控制网后，由于控制网的精度一般不低于四等导线的测量精度，因此，长度不超过 4km 的隧道，线路控制网的测量精度是能够满足洞外控制测量精度要求的。但因设计阶段的线路控制网点位及其密度一般不能满足隧道洞口的布网要求。因此规定：当根据隧道测量设计，线路控制网精度满足隧道洞外贯通精度要求时，在线路控制网基础上扩展形成隧道施工控制网，以满足隧道施工。

当线路控制网精度无法满足隧道洞外控制测量贯通要求时，则建立隧道独立控制网，独立控制网的精度根据隧道长度及相应的贯通误差要求确定。为确保线路与隧道的正确衔接，进行隧道控制网与线路控制网的联测。因两者测量精度不同导致线路与隧道不能正确衔接时，由施工和设计单位共同对线路进行调整。

6.4.2 平面控制测量误差引起的隧道贯通误差规定已在前述 6.1.4 的条文说明中进行了说明。因此，当洞外采用 GPS 测量技术时，不再按传统的洞外、相向开挖两洞内三因素等影响来分配隧道贯通误差。

高程控制测量误差引起的隧道贯通误差：

洞外、洞内高程控制测量误差对每个贯通面的高程贯通误差影响是按等因素影响考虑。这是基于：1、洞外高程控制测量虽有地形起伏大、路线长、置镜多、受外界影响大等不利因素，但通视条件好、明亮度高、使用仪器一般较好、受工期影响较小等有利因素；2、洞内高程控制测量虽然起伏小、气温稳定，但明亮度低，使用仪器受限制、施工干扰大的不利因素。因此将洞外、洞内高程控制测量误差对每个贯通面上的贯通误差按等因素影响考虑是符合施测情况的。

100 多座隧道的实测高程贯通误差成果表明：这一规定是合理的，精度也是比较高。

当每个贯通面上高程贯通误差的允许中误差为  $m$  时，洞内、洞外高程控制测量误差产生在贯通面上的高程中误差则均为  $\sqrt{1/2}m$ ，由此确定洞内、洞外高程控制测量所需的等级。

表 6.4.2—1 说明如下：

(1) GPS 测量适用的隧道长度：

考虑 GPS 的布网特点和 GPS 测量对隧道贯通误差的影响因素，当延长接收时间、改善洞口定向边观测条件、增加联系边长度时，可以提高洞口定向联系边的方向精度。

统计表明，GPS 测量洞口定向联系边的方向精度一般可控制在  $1\sim 2''$  以内，因此 GPS 测量特别适合长大隧道的洞外控制测量，因此建议长度大于 4km 的隧道优先采用 GPS 洞外控制测量，GPS 定向边的方向精度一般不宜小于  $1.7''$ 。

(2) 洞外各等级导线测量适用的隧道长度和边长精度:

使用光电测距仪或全站仪进行洞外控制测量,由于目前使用的测距仪测程一般均较长,边长精度也比较高,导线边的长度可以增长,导线边在贯通面上的投影长度也可适当增长,以充分发挥常规测量较能适应地形变化等优势。因此也考虑了常规测量用于长大隧道的需要。

①对于导线边长:两开挖洞口间长度在 4km 以下的隧道导线边长按不短于 300m; 4km~6km 按不短于 600m; 6km~20km 按不短于 1000m 考虑。

②导线边在贯通面上的投影长度:两开挖洞口间长度在 6km 以下的隧道,按导线边长的 1/10; 6km 以上的隧道,按导线边长的 1/4 考虑。

③边长精度:按光电测距仪较低精度 1/50000 计算。

由测角测边误差所产生在贯通面上的横向中误差分别按下式计算:

$$m_{y\beta} = \frac{m_{\beta}}{\rho} \sqrt{\sum R_x^2} = \frac{m_{\beta}}{\rho} L \sqrt{\frac{n-3}{12}}$$

$$m_{yl} = \frac{m_l}{l} \sqrt{\sum d_y^2}$$

式中  $R_x$ —导线至贯通面的垂直距离 (m)

$d_y$ —导线边对贯通面的投影长度 (m)

$n$ —导线边数

$ml/l$ —导线边边长相对中误差。

现以不同的隧道长度、测角精度,计算相应的贯通误差值列于说明表说明表 6.4.2-1

说明表 6.4.2-1 计算的贯通误差值

隧道长度	2		4		6		8	10	13	14	16	17	20
测角精度	4	2.5	2.5	1.8	1.8	1	1	1	1	1	1	1	1
导线边精度	1/50000				1/100000			1/200000					
贯通误差预计	23	14.6	31.3	24.4	50.8	32.7	44.8	59.1	78.4	85.4	100.4	108.3	133.6
允许贯通误差	30		45				60	90	120			150	

从表可以看出,洞外导线测量按表列精度进行测量时,一般情况能满足隧道贯通精度要求。对于长度为 6km~20km 的隧道,因导线测量的工作量巨大,因此优先选用 GPS 测量。

(3) 洞内测量因施工干扰大,观测条件差,作二等导线测量的难度很大,因此将洞内二等导线的测角精度适当降低。

(4) 对于短隧道的洞外控制测量,由于**线路控制网 CPII 相当于四等导线测量精度**,因此完全可以采用 CPII 控制网作为短隧道的洞外控制导线测量起算边。但因 CPII 控制点较少,布设的控制点也不便于隧道施工使用,因此可以在 CPII 控制网基础上进行增补加密;对于短隧道的洞内控制测量,由于要求的测量精度不高,因此增设了测角精度为±4"的五等导线测量。

(5) 本次修订,洞内导线控制测量增加了测角中误差为 1.3"这一测量精度等级,条文中称其为“隧道 2 等”。过去测量经验表明,长度为 6~10km 的隧道,根据设计贯通误差设计的洞内导线测角精度一般介于 2 等与 3 等之间,而国家没有这一精度指标。基于既保证贯通精度需要又经济合理的原则,增加了这一精度等级

(6) 进行隧道测量设计时，当一座隧道由同一测量单位负责洞外、洞内平面控制测量时，测量单位可以统筹兼顾洞外洞内的测量设计，统一分配洞外洞内贯通误差影响值，合理确定洞内外的测量精度。因此，当由一家测量单位完成洞内外控制测量时，洞内平面控制测量误差对横向贯通误差的影响值可按下列步骤进行：洞外平面控制测量完成后，在总的横向贯通中误差内扣除洞外平面控制测量误差对横向贯通误差的影响值，即可得到留给洞内平面控制测量误差对横向贯通误差的影响，以此确定洞内控制网的测量精度。

表 6.4.2-2 说明如下：

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

两开挖洞口间的水准路线长度  $L$ ，按下式计算得到：

$$L = \sqrt{\frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2}} \quad (\text{说明式 6.4.2})$$

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

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

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

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

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

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

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

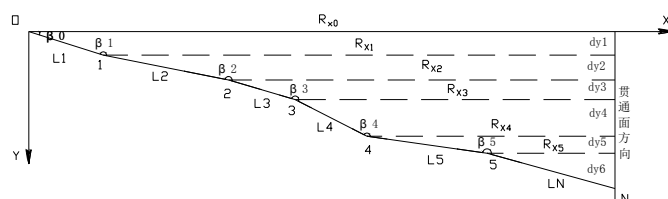
$$\text{五等: } L = \frac{m_{\Delta h}^2}{M_{\Delta}^2} = \frac{18^2}{7.5^2} = 5.7\text{km}$$

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

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

6.4.3~6.4.4 GPS 测量用于隧道验前贯通误差估算已在本规范 6.1.4 中进行了详细说明。

导线测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差近似计算公式说明如下：  
如说明图 6.4.4-1 所示。假设导线由洞口投点 O 开始引测至贯通面，则贯通面上 N 点的横坐标为：



说明图 6.4.4-1

$$y_N = \sum l_i \sin A_i = \sum \Delta y_i$$

微分并整理上式得到：

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

$l_1, l_2, \dots, l_n, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n$  均系独立观测值，若以  $ml/l$  表示测边精度， $m$  表示测角精度，并将式转换成中误差形式：

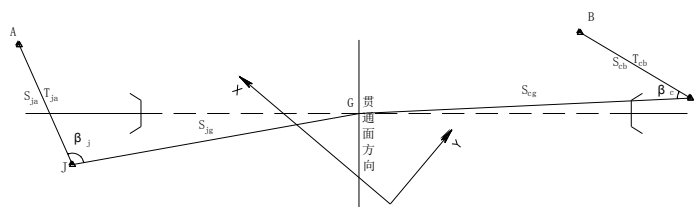
$$m^2 = d_{y1}^2 \left( \frac{ml}{l} \right)^2 + d_{y2}^2 \left( \frac{ml}{l} \right)^2 + \dots + d_{yn}^2 \left( \frac{ml}{l} \right)^2 + R_{x1}^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + R_{x2}^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2 + \dots + R_{xn}^2 \left( \frac{m_\beta}{\rho} \right)^2$$

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

$$\text{则 } m^2 = m_{yl}^2 + m_{y\beta}^2。$$

上式即为隧道贯通误差影响近似计算公式。从以上推导过程可以看出，导线测量误差影响产生在贯通面上的横向中误差计算公式，系根据单导线推导出来的。但现场施测时为了满足贯通精度的需要及增强网的可靠性，隧道洞内、洞外控制测量一般不接单导线形式布设，而采用多边形闭合导线环。显然在此情况下，用式 6.4.4-1 计算的贯通误差并不是导线环的贯通误差值，而是一个近似值。不难理解，这样的近似值对于导线环来说是偏于安全的。

GPS 控制测量与常规测量贯通误差严密计算公式如下图：



说明图 6.4.4-2

无论隧道控制测量采用何种方法，隧道洞外控制测量的成果一般为隧道进口、出口附近控制点的坐标。这些点的坐标精度及其相对精度在一定程度上集中体现了测量方法的影响和控制网的成果质量。假设在任意两相向洞口有 J、C、A、

B 四个控制点，它们分别表示洞口控制点和进出口附近的定向点，G 为隧道贯通点。因此，G 点的横向贯通误差是由于 J、C、A、B 四个控制点的误差引起的。

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

$$\Delta X_G = X_j + S_{jg} \cos(T_{ja} + \beta_j) - X_c - S_{cg} \cos(T_{cb} + \beta_c)$$

$$\Delta Y_G = Y_j + S_{jg} \sin(T_{ja} + \beta_j) - Y_c - S_{cg} \sin(T_{cb} + \beta_c)$$

在不考虑  $S_{jg}$ 、 $S_{cg}$ 、 $\beta_j$ 、 $\beta_c$  的误差时，对上式微分并整理得到关于  $\Delta X_G$ 、 $\Delta Y_G$  的权函数式为：

$$d(\Delta X_G) = (1 - a_{ja} \Delta Y_{jg}) dX_j - b_{ja} \Delta Y_{jg} dY_j + a_{ja} \Delta Y_{jg} dX_a + b_{ja} \Delta Y_{jg} dY_a \\ - (1 - a_{cb} \Delta Y_{cg}) dX_c + b_{cb} \Delta Y_{cg} dY_c - a_{cb} \Delta Y_{cg} dX_b - b_{cb} \Delta Y_{cg} dY_b$$

$$d(\Delta Y_G) = (1 + b_{ja} \Delta X_{jg}) dY_j - a_{ja} \Delta X_{jg} dX_j + a_{ja} \Delta X_{jg} dX_a + b_{ja} \Delta X_{jg} dX_a \\ - (1 + b_{cb} \Delta X_{cg}) dY_c + a_{bc} \Delta X_{cg} dX_b - a_{cb} \Delta X_{cg} dX_c - b_{cb} \Delta X_{cg} dY_b$$

上式写成矩阵形式，再按协因素传播律得：

$$\begin{bmatrix} \sigma_{\Delta x_E} & \sigma_{\Delta x_E \Delta y_E} \\ \sigma_{\Delta y_E \Delta x_E} & \sigma_{\Delta y_E} \end{bmatrix} = \sigma_0^2 f Q_z f^T = f D_z f^T$$

$$f = \begin{bmatrix} 1 - a_1 \Delta y_{AE} & b_1 \Delta y_{AE} & a_2 \Delta y_{BE} - 1 & -b_2 \Delta y_{BE} & a_1 \Delta y_{AE} & -b_1 \Delta y_{AE} & -a_2 \Delta y_{BE} & b_2 \Delta y_{BE} \\ a_1 \Delta x_{AE} & 1 - b_1 \Delta x_{AE} & -a_2 \Delta x_{BE} & b_2 \Delta x_{BE} - 1 & -a_1 \Delta x_{AE} & b_1 \Delta x_{AE} & a_2 \Delta x_{BE} & -b_2 \Delta x_{BE} \end{bmatrix}$$

$$Z = [dx_A \quad dy_A \quad dx_B \quad dy_B \quad dx_C \quad dy_C \quad dx_D \quad dy_D]^T$$

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

对于直线隧道，当隧道轴线为 X 轴时，则  $\sigma_{\Delta x_E}$  为纵向贯通误差的影响值， $\sigma_{\Delta y_E}$  为横向贯通误差的影响值。

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

$$M^2 = \sigma_{\Delta x}^2 \cos^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta y}^2 \sin^2 \alpha_F + \sigma_{\Delta x \Delta y} \sin 2\alpha_F$$

6.4.10 洞口子网用于控制该洞口并向洞内传递洞外控制数据，各洞口子网通过主网联系在一起，形成隧道的洞外平面控制网。

当基线过长时，由于不同地区的对流层、电离层可能不相同，目前用于处理对流层和电离层误差的模型不尽完善，增加了基线处理时的残余误差，因此，需避免长大隧道主网出现较长的基线。将长基线（长于 20km）分成短基线处理，有利于提高控制网的精度。所以，对长隧道提出了分段布的要求。

按本规范第 3.2 节的要求进行无约束平差时需要一个 WGS-84 坐标起算点，一般要求这个点与独立坐标系的坐标原点重合，以便计算出的点位误差均是相对



于该点的；WGS-84 坐标可以通过坐标增量从基线解算用的高精度 WGS-84 坐标起算点传算得到。当 GPS 网的 WGS-84 坐标 (XYZ)、大地坐标 (BLH) 投影变换为高斯坐标 (xy) 时，采用隧道测区平均子午线经度作为中央子午线经度。可采用工程椭球直接投影法同时投影到隧道平均高程面上，并顾及高程异常（大地高减正常高）影响。最后旋转平移到独立施工坐标系。

6.4.11 最有利的观测时间一般为天明到出日前半小时、日落半小时后到天黑、阴天和晚上这些时间。当视线离地面较近时，尽可能选择在阴天或晚上观测。

关于水平角的观测方法和测回数的规定，说明以下几点：

1 洞外水平角观测，施工单位长期以来一直采用方向观测法。即使在洞口附近，一些测站涉及多个观测方向时，也都不采用组合法测角，而仍采用分组的观测方法，因此不考虑复测法测角。

2 隧道洞外控制网一般边长较短，且俯仰角较大，受地形限制，网中各边长度不一，为提高观测精度，观测前选择边长适中、俯仰角不大的方向作为起始方向，以减小观测过程中的仪器调焦误差。观测过程中，在测回间改变对中器方向重新对中置平仪器和觇标，以减小仪器和觇标的对中误差对测角的影响。这对保证测角精度是很重要的，具体分析可参见规范第 6.1.5 条文说明。

导线环严密平差计算时，尤其应该注意边、角的定权问题。如果平差时边角定权不合理，在一定程度上反而降低了成果的可靠性，按本条文定权时，还需要注意边角的误差体系必须一致，即都采用相对误差体系，或者都采用绝对误差体系。

考虑到铁路隧道控制网导线环的坐标闭合差一般较小，根据以往经验，严密平差结果与近似平差结果相差很小，顾及这一情况，当隧道较短、控制网规模不大、网的等级不高时可以采用简易平差，即一般角度闭合差平均分配后计算各导线点近似坐标，求得导线环闭合差，将坐标闭合差再按导线边长比例分配。由于坐标闭合差分配后必然引起方位的改变，一般情况下角度改正值不大于测量角中误差的两倍。

6.4.14 完成隧道控制测量后，由于定测与施工控制测量精度不同，测量不可避免地存在误差。

对于传统定测模式下的隧道控制测量，联测的线路定测切线点坐标必然与原有坐标不符，其不符值必将反映在线路关系上，包括曲线转角、曲线长度、切线长度等都将随之改变。为保证隧道贯通要求，需重新计算线路曲线要素，并按新的线路曲线关系进行隧道洞门放样、指导隧道施工。

对于布设线路控制网 CPII 模式下的隧道控制测量，隧道段的线路坐标与理论坐标形式给出，因此，联测两端设计线路控制点后与设计线路控制点坐标出现不符值时，需考虑隧道与两端线路的衔接关系，必须时由设计与施工单位共同调整线路关系，同时将调整成果报相关部门。

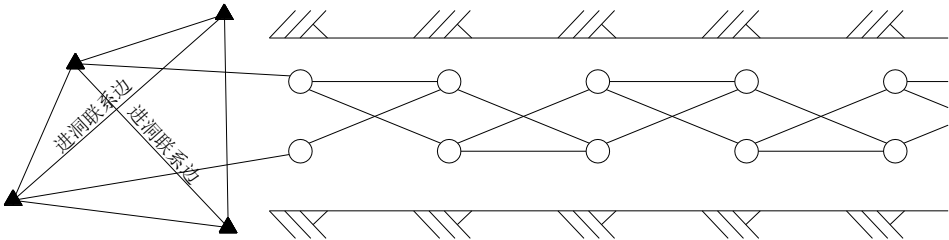
6.5.1 关于洞内洞外平面控制网边连接问题：当完成洞外控制测量后，可以通过软件选取最佳进洞联系边，用于向洞传算坐标与方位。为提高传递精度，一般选取两条进洞联系边向洞内同时传递方向和坐标，以代替过去洞内与洞外导线单一连接方式。这种联系方式一方面可以使与洞外控制网的联系的洞内导线构成闭合检核条件，另一方面，洞外的两条边向洞内传递已数据，以提高洞内



导线的贯通精度。

布设交叉双导线主要是为了增加网的多余观测量、增加导线的闭合检核条件、提高网的整体强度和精度。

洞外洞内导线边连接方式和洞内交叉双导线的布网形式如说明图 6.5.1 所示。



说明图 6.5.1

6.5.6 关于洞口测角问题这里需要补充说明。由于洞外控制数据是通过隧道进洞联系边向洞内导线传递的，进洞联系边的观测质量直接影响隧道横向贯通精度，洞口站由于处于洞外与洞内交接处，白天测量时，洞外与洞内的光线明暗强度、温度及气象条件各不相同，很难保证观测质量，因此建议该站的测角工作选择在阴天或晚上进行为宜。如果洞口段曲线隧道，尤其应当注意折光和气差影响。

6.5.9 目前 6"级的陀螺仪已有部分施工单位使用。通过 SOKKIA AGP—1 型 6"级陀螺仪在锦屏隧道的运用及相关的实验研究表明，该仪器定向精度 4 测回可以达到 4.2"。当隧道较长时，洞内适当增设高精度的陀螺定向边，以检核洞内导线的方位。各单位可以在这方面作相应的尝试和必要的经验积累。实验结果如说明表 6.5.9。

说明表 6. 6. 7 SOKKIA AGP—1 型 6"级陀螺仪不同测回定向精度统计

测回数	定向精度 (")	单边定向耗时 (小时)
1	8.5	0.25
2	6.0	0.5
3	4.9	0.75
4	4.2	1
5	3.8	1.25

6.6.1 中线建立可分两种情况：用中线法贯通的短隧道，中线是在坑道掘进临时中线复测的基础上建立的；用导线法贯通的隧道，中线点是用导线放设的。为了衬砌放样，还须在永久点基础上加密临时中线点。

临时中线用于指导坑道开挖和局部衬砌放样。临时中线点的间距，一般曲线上为 10m、直线上为 20m。测设时在中线点间置镜定向，直线上用压点的方法，曲线上用偏角法或极坐标法测设。

中线点间距规定的依据如下：

由导线测设中线的情况：为保证相邻中线点的通视，根据前述计算，现行线路设计标准下，全断面或上下断面法开挖的隧道，曲线地段的最短通视长度一

一般为 140m，因此选取用 100~200m。；直线地段，考虑到通常使用的导线边长和施工使用方便，规定为 150~250m。

1 由导线测设中线：适用于洞内施测导线贯通的隧道。由于采用极坐标放样，计算简便，测设方便又便于检测。在使用光电测距仪和全站仪时更为方便。一般要求测设不少于 3 点是为了便于检核。直线上放设 3 点后，通常用串线法检核；曲线上放出 3 点后，一般置镜中间点检测偏角。当中线上只测设 1 点或两点时，一般需测设与 2 个以已知点的方位、构成检核角。

2 独立的中线法测设：适用于中线法贯通的较短隧道。条文中对测设方法明确规定为：直线上采用正倒镜延伸直线法。该方法简便、适用，有利于消除仪器误差。曲线上由于受通视长度限制。一般宜采用偏角法，当测设永久中线时因每个中线点需置镜，即构成弦线偏角法。视现场条件及施工需要也可采用其它曲线测设方法。

3 供衬砌用的临时中线加密点，分部开挖的隧道加密衬砌用的临时中线点时，曲线上宜每 10m 一点，直线上宜每 20m 一点。全断面开挖的隧道，为了台车定位方便，直线和曲线上都宜于按 10m 一个点加密。

6.6.3 全站仪的大量使用，现在的隧道洞内放样方法一般采用极坐标法。洞内控制则多采用导线法。原来采用平移隧道中线采用中线法控制平道的测量方法已不多用，因此，当曲线隧道设有平道时，中线平移施工测量，可以通过中线偏移量，计算出相应里程的坐标，以此确定平道的施工中线。原规范关于曲线平移的计算方法也可以参照使用。这里仅给出原规范曲线平移后的缓和曲线计算公式。

$$\frac{l_1}{l_2} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} \quad (\text{说明式 6.6.3-1})$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\sqrt{R_1}}{\sqrt{R_2}} \quad (\text{说明式 6.6.3-2})$$

$$\frac{\beta_1}{\beta_2} = \frac{\sqrt{R_2}}{\sqrt{R_1}} \quad (\text{说明式 6.6.3-3})$$

式中  $R_1$ 、 $R_2$ —原曲线和平移曲线的圆曲线半径；  
 $l_1$ 、 $l_2$ —原线路和平移线路的缓和曲线长度（km）；  
 $\beta_1$ 、 $\beta_2$ —原线路和平移线路的缓和曲线偏角（km）。

6.6.4 洞内用三角高程加密施工高程点时，考虑到边长较短，通常在 100m 左右，而且一般最多传递 2~3 条边。因此地球曲率对高差影响极小；垂直折光影响也忽略不计，故不需要作对向观测，只要求变动反射器高度观测两次以防粗差。

6.7.1 关于实际贯通误差的测量方法，具体说明如下：

1 采用中线法测量的隧道，实际贯通误差的测定如说明图图 6.7.1-1 所示。

图中 M、N 为洞内中线点，E'、E''分别为进口端和出口端引测至贯通面处的中线点。

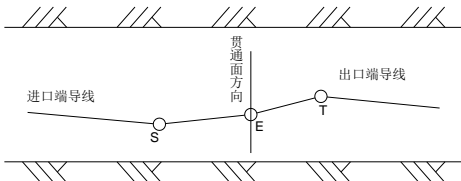
2 采用精密导线作洞内控制测量的隧道，实际贯通误差的测定如说明图 6.7.1-2 所示。

在贯通面附近任选一点 E，由进口端导线测出它的坐标（ $x_{E进}$ 、 $y_{E进}$ ），由出口端导线测出它的坐标（ $x_{E出}$ 、 $y_{E出}$ ），由此算得实际贯通误差值为

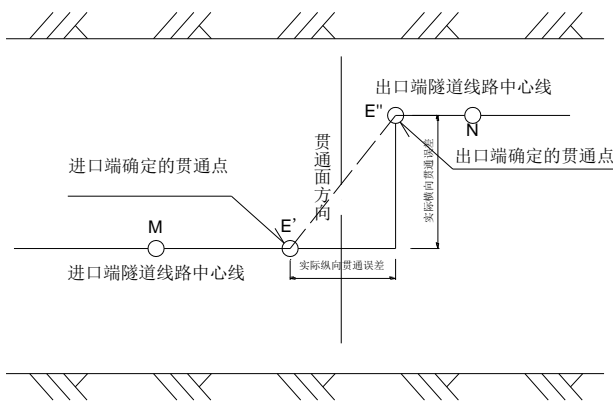
$$\sqrt{(x_{E出} - x_{E进})^2 + (y_{E出} - y_{E进})^2}。$$

它在贯通面方向上的投影长度，即是实际横向贯通误差；它在垂直于贯通面方向上的投影长度，即是实际纵向贯通误差。当 Y 轴平行于贯通面时，则（ $y_{E出} - y_{E进}$ ）即为实际横向贯通误差；（ $x_{E出} - x_{E进}$ ）即为实际纵向贯通误差。

方位角贯通误差的测定方法是：测量  $\angle SET$ ，由出口端导线的已知方位角  $\alpha_{TE}$ ，推算 SE 边的方位角  $\alpha_{SE出}$ ，它与进口导线推算的方位角  $\alpha_{SE进}$  的差值（ $\alpha_{SE出} - \alpha_{SE进}$ ），即为实际方位角贯通误差。



说明图 6.7.1-2



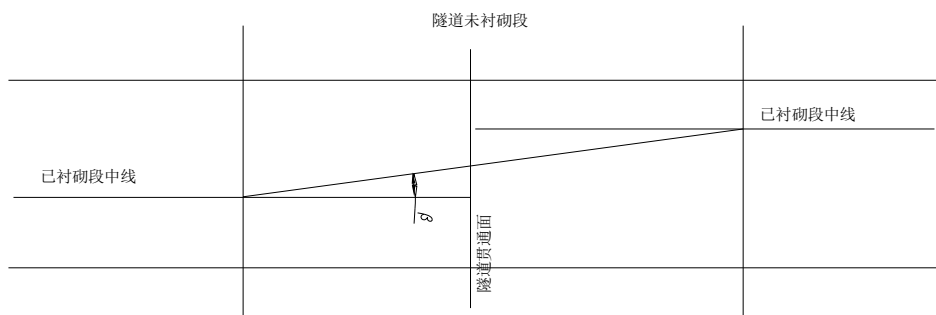
说明图 6.7.1-1

3 由进、出口水准路线分别测至贯通面附近的 E 点，得到 E 点的高程  $H_{E进}$  和  $H_{E出}$ ，则  $H_{E进} - H_{E出}$  即为实际高程贯通误差。

隧道贯通以后，通过贯通测量测得的实际贯通误差包括纵向、横向、方位角以及高程贯通误差。贯通误差的测定有两个作用：一是隧道贯通后进行贯通误差调整，以此作为未衬砌段今后的施工和轨道铺设依据；二是统计隧道实际贯通误差，以验证隧道测量设计理论，改进隧道测量设计，研究测量方法和测量仪器，三是为将来测量规范的修订提供参考。因此，隧道贯通后，测量机构按本规定即时组织人员测量实际贯通误差并提出相应的贯通误差调整方案。贯通误差的测量及调整资料需妥善保留。

6.7.4 就隧道本身而言，施工单位出于安全考虑，竣工断面均较设计有所加宽，一般加宽在 5cm 以上，对于洞内用导线测量的隧道，如果贯通误差在加宽范围内，则完全可以通过平差计算调整贯通误差，调整后的线路中线不会影响到已衬砌地段的线路中线，因此，这种情况下优先采用平差法调整贯通误差。

折线法调整是一种比较简单的调整方法。其调整方法如说明图 6.7.4-1



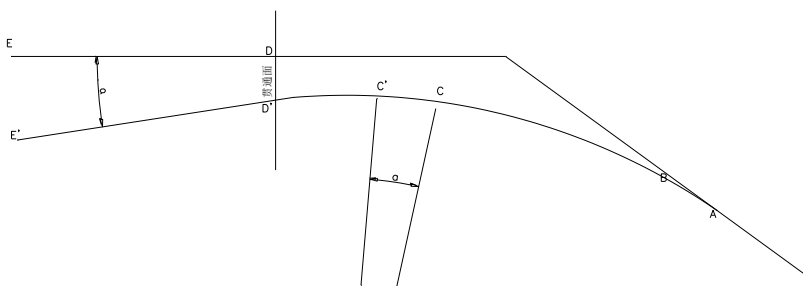
说明图 6.7.4-1

因调线而产生的折角在  $5'$  以内时：圆曲线长度远远不足现行线路设计规范最小  $30\text{m}$  规定，无法设置曲线；外矢距也小于  $1\text{mm}$ ，顶点内移量实际上设不出来，因此可视为直线线路。

折角在  $5' \sim 25'$  时，按  $\beta=25'$ 、 $R=10000\text{m}$  计算，曲线长全  $70\text{m}$ ，也无法设置最短圆曲线长  $30\text{m}$ ，缓和曲线长  $40\text{m}$  的曲线。但按这种要求设置的顶点内移值可达  $70\text{mm}$ 。因此，当折角在  $5' \sim 25'$  时，规定采用顶点内移的方法也是可行。

当折角超过  $25'$  时，可设置大半径曲线，半径的大小可根据贯通误差大小选取。

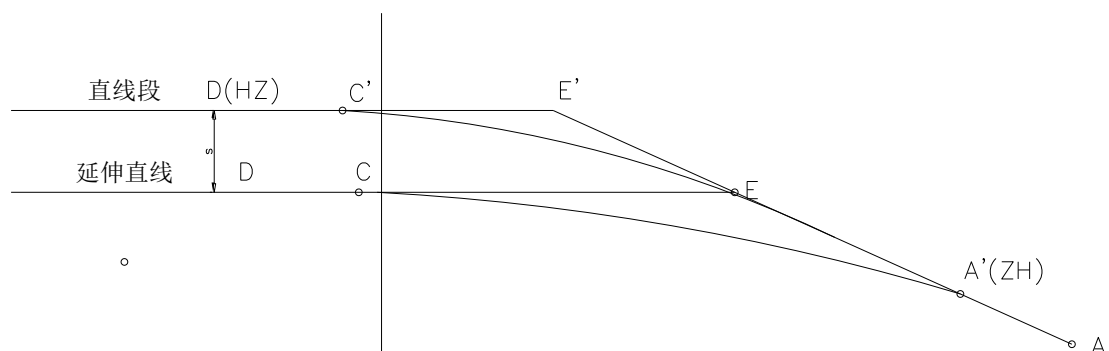
当调线地段内有直线和曲线，而且贯通点在曲线的始终点附近时，要注意由曲线延伸出来的切线是否与另一端洞内直线相重合。通常出现的情况是不重合也不平行。在此情况下，先将两者调整平行，然后再继续调整至重合。可采用“调整圆曲线长度法”调整平行，该调整方法如说明图 6.7.4-2 所示。



说明图 6.7.4-2

D 和 D' 附近为贯通点，当从 D' 点继续向前延伸切线时，发现此切线与 DE 切线不平行，欲使切线平行，可将圆曲线 BC' 缩短到 C，此时圆曲线半径和缓和曲线长度保持不变，而圆曲线之中心角减小了相应的值，D'E' 切线也转动一个角与 DE 切线平行。

调整平行后，进一步调整使此切线与直线重合，调整的方法是采用“调整曲线始终点法”。如说明图 6.7.4-3 所示。



说明图 6.7.4-3

由说明图 6.10.4-3 可以看出，欲将延伸直线与直线段  $E'D$  重合，只需将曲线的 ZH 点由  $A$  沿其切线本身移至  $A'$  此时切线  $DC$  与切线  $D'C'$  重合。由图可知： $AA'=EE'=S/\sin a$ 。按上述方法调整后，进行实地放设与检测。

6.10.5 当实际高程贯通误差在规定限差之内时，高程贯通误差的调整方法是由两端洞口引进的水准线路测到贯通面附近水准点时，得出同一点的两个高程  $H_{进}$  和  $H_{出}$ ，这两个高程之差 ( $H_{进}-H_{出}$ ) 就是实际高程贯通误差。一般只对未衬砌地段的水准点高差进行高整，若两端调整地段长度大致相等时，即取两高程的平均值作为调整后的高程。两端未衬砌地段各水准点高程，根据贯通点调整量分别按水准路线的长度比例调整。