

长隧道施工控制测量对贯通误差影响分析

杨远程 冯 康

(测绘信息工程院)

[摘要] 影响隧道贯通误差的因素有洞外控制网精度和洞内控制网精度,洞内外控制网分别又包括平面控制网和高程控制网,不同控制网观测方法不同,对隧道贯通误差影响不同。本文以引汉济渭工程穿越秦岭的隧道为例介绍长隧道施工控制网的布设形式及对贯通误差的影响,对隧道施工控制网布设及贯通误差计算有一定参考价值。

[关键词] 长隧洞 控制测量 贯通误差

1 引言

随着社会的发展,越来越多隧道工程出现在铁路、公路和水利等工程中,而且大长隧道越来越多。贯通误差是指相向或同向掘进的坑道(或竖井)的施工中线在贯通面上因未准确接通而产生的偏差,有横向贯通误差、纵向贯通误差和竖向贯通误差。其中,竖向贯通误差只对隧道长度有一定影响,对隧道贯通影响可不考虑。对隧道贯通起关键作用的是横向贯通误差和竖向贯通误差,影响这两个误差的因素主要为隧洞内、外平面和高程控制测量。

目前洞外平面控制测量主要采用 GNSS 观测的方式,洞内平面控制网采用导线测量的方式进行,洞内、外的高程控制测量一般采用水准测量的方式进行。一般根据隧道贯通长度设计各控制的观测精度,可根据布网精度预估贯通误差是否满足规范要求。

本文以引汉济渭工程穿越秦岭段长隧道为例,对控制网的布设情况及贯通误差的计算进行分析。

2 工程介绍

引汉济渭工程又称陕西南水北调工程,用以满足西安、咸阳、宝鸡、渭南4个重点城市及沿渭河两岸的11个县城和6个工业园区的调输配水工程,是解决陕西关中、陕北缺水的战略性水资源配置工程。该工程在陕西省陕南地区的汉江干流黄金峡和支流子午河分别修建黄金峡水利枢纽和三河口水利枢纽,两处水源经调蓄后通过秦岭输水隧洞(分黄三段和越岭段)送至陕西省渭河流域关中受水区^[1]。

秦岭输水隧洞进口位于秦岭隧洞越岭段水利枢纽坝后左岸,出口位于陕西省关中周至县黑河右岸支流黄池沟内,隧洞全长98.3 km,由越岭段和黄三段组成。越岭段全长81.8 km,采用不同支洞同时掘进“长隧短打”的方法进行施工。如何实现各个支洞顺利掘进至主洞以及对打实现贯通是越岭段施工的重点和难点,隧洞的精密贯通与施工过程中精细的测量工作是分不开的,而施工过程中的测量工作是以建立精度可靠的测量控制网为基础的。

引汉济渭工程越岭段位于3#~5#洞之间。3#支洞~4#支洞口之间主洞长度12257 m,3#支洞长度3872 m,4#支洞长度5820 m,相向开挖总长度21949 m。4#支洞~5#支洞口之间主洞长度16880 m,4#支洞长度5820 m,5#支洞长度4595 m,相向开挖总长度27295 m。

3 控制网布设及观测

控制网包括洞外控制网和洞内控制网,均包含平面控制网和高程控制网。

(1) 洞外平面控制网

保证隧洞准确贯通是隧洞施工的重中之重。过去洞外平面控制网常采用三角网、导线网、边角网等常规布网形式,随着GNSS技术的推广应用,目前洞外控制网主要采用GNSS观测的手段进行施测。由于GNSS观测无需通视,该技术用于隧道工程较常规测量方法有布点少、精度高、工期短等优点。

洞外平面控制点的作用是为进洞联系测量提供起算坐标,其精度直接影响隧洞的贯通精度。在3#~5#支洞每个洞口布设三个强制观测墩,一个正

作者简介:杨远程(1987—),男,山东省禹城人,工程师,硕士,从事水利水电工程勘察设计工作。

对洞口为进洞点,另外两个分别为定向点和检核点,进洞点与另外两点间距离控制在 300 m 以上。采用

GNSS 静态模式以边连接方式进行平面控制网的观测,3#~5#洞之间进行联测,精度指标见表 1。

表 1 GNSS 观测精度指标

等级	固定误差 a/mm	比例误差 b/(mm/km)	最弱边相对 中误差	闭合环或附和线 路边的数/条	最弱点点位中 误差/mm
二等	≤5	≤2	1:150000	≤6	10

(2) 洞外高程控制网

洞内竖向贯通误差主要受高程控制网精度的影响。洞外高程控制测量按二等水准测量的精度进行施测。

(3) 洞内平面控制网

一般隧洞内空间狭长,平面控制网多采用精密导线的形式。为提高测量精度,不少专家学者对洞内导线测量进行相关研究^[2-4]。洞内导线布设及观测形式有单导线、主副导线、双导线、菱形交叉导线等多种形式。对于长隧洞一般采用双导线环或者交叉双导线的形式进行观测,以增加复核条件、增加多余观测来提高观测精度。

隧洞内平面控制点是直接用于指导隧洞掘进施工的控制点,采用对点的形式进行布点,采用交叉双导线网法进行观测,观测网图见图 1,其中 XGPS301 为进洞点,XGPS302 和 XGPS303 是定向点和检查点,其余点为洞内导线点。按二等导线精度施测,精度指标见表 2。

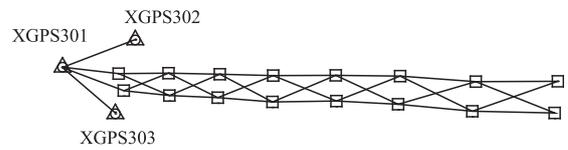


图 1 交叉双导线路线示意图

表 2 二等导线技术指标

等级	测距中误差 (mm)	测角中误差 (")	方位角闭合 差(")	导线全长相 对闭合差	测回数				
					边长往返	水平角(")		天顶距(")	
						0.5	1	0.5	1
二等	±2	±1.0		1:110000	各 2	6	9	3	4

(4) 洞内高程控制网

利用洞内平面控制点作为高程控制点,不再单独埋设高程控制点。洞内高程控制按二等水准测量精度进行施测。

容许极限贯通误差应符合表 3 的规定,贯通中误差分配值应符合表 4 的规定^[5]。

表 3 水工隧洞开挖贯通测量容许极限误差值

相向开挖长度 \ km	20~25	25~30	
极限贯通误差/mm	横向	±400	±500
	纵向	±400	±500
	竖向	±124	±150

注:相向开挖长度包括支洞的长度。

4 贯通误差估算

4.1 《水利水电工程施工测量规范》(SL 52-2015)中“地下工程测量”表 9.1.2 规定,水工隧洞开挖的

表 4 贯通中误差分配值

相向开挖 长度 \ km	贯通中误差/mm								
	横向			纵向			竖向		
	地面	地下	贯通面	地面	地下	贯通面	地面	地下	贯通面
20~25	±80	±200	±215	±80	±200	±215	±44	±44	±62
25~30	±100	±250	±269	±100	±250	±269	±53	±53	±75

4.2 贯通误差估计

(1) 洞外测量横向贯通误差估计

洞外控制网采用 GNSS 方法观测,假定进洞点为 C,出洞点为 J,贯通面为 P,洞外 GNSS 测量误差包括 GNSS 点的点位中误差和进洞定向基线边的方位角中误差。根据误差传播定律,GNSS 点的点位中误差和定向边的方位角中误差对进洞导线在贯通面的横向贯通误差影响按下式(1)计算。

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

式中 M——洞外 GNSS 控制测量误差引起的隧道横向贯通中误差;

m_J, m_C ——进、出口 GNSS 控制点的 Y 坐标误差;

θ, φ ——进、出口控制点至贯通点连线与贯通点线路切线的夹角;

L_J, L_C ——进、出口 GNSS 控制点至贯通点的长度;

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

L ——相向开挖隧道计算设计长度;

m_G ——GNSS 测量定向联系边方向误差;

ρ ——边角常数 206265。

根据规范规定, GNSS 控制网的相邻点的相对精度优于 10 mm, 考虑到山岭隧道测量的复杂性和特长隧道 GNSS 边较长等因素, 相邻点的相对精度可以取 20 mm, 基线方位角中误差可取 1.0" 代入公式(1)可求得洞外 GNSS 测量引起的 3#~4#及 4#~5#隧道贯通误差。

$$M_{(3\#-4\#)}^2 = 20^2 + 20^2 + (10000000/206265)^2 \times 1.0^2 / 2 = 1975.22$$

$$M_{(3\#-4\#)} = 44.44 \text{ mm}$$

$$M_{(4\#-5\#)}^2 = 20^2 + 20^2 + (27000000/206265)^2 \times 1.0^2 / 2 = 9367.35$$

$$M_{(4\#-5\#)} = 96.78 \text{ mm}$$

(2) 洞内测量横向贯通误差估计

$$m_q = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yl}^2} = \sqrt{\left(\frac{m_\beta}{\rho}\right)^2 \sum R_x^2 + \left(\frac{m_l}{l}\right)^2 \sum d_y^2} \quad (2)$$

式中 m_q ——洞内导线测量误差引起的横向贯通误差;

$m_{y\beta}$ ——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_β ——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)。

洞内导线按二等导线精度要求进行观测, 测角中误差取 1.0", 每公里测边中误差取 2 mm, 洞内导线平均边长 500 m, 估算 3#~4#贯通面, 4#~5#贯通面洞内导线对横向贯通误差的影响:

$$m_{q(3\#-4\#)} = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yl}^2} = \sqrt{\left(\frac{1.0}{206265}\right)^2 \times 558500000 + \left(\frac{2}{1000000}\right)^2 \times 3000000} = 0.114$$

$$m_{q(4\#-5\#)} = \sqrt{m_{y\beta}^2 + m_{yl}^2} =$$

$$\sqrt{\left(\frac{1.0}{206265}\right)^2 \times 1228803200 + \left(\frac{2}{1000000}\right)^2 \times 3000000} = 0.17$$

横向贯通误差估计:

$$m_{y(3\#-4\#)} = \sqrt{m^2 + 2m_q^2} = \sqrt{44.44^2 + 2 \times 114^2} = 167.23 \text{ mm}$$

$$m_{y(4\#-5\#)} = \sqrt{m^2 + 2m_q^2} = \sqrt{96.78^2 + 2 \times 170^2} = 259.16 \text{ mm}$$

根据误差估计, 洞外 GNSS 按二等 GNSS 网精度观测, 洞内按二等导线网观测精度进行测量, 能够满足横向贯通精度的要求。

(3) 竖向贯通误差估计

以 4#~5#隧洞为例估算竖向贯通误差。根据控制网设计精度, 洞外水准为附和路线, 按二等水准全中误差 2.0 mm, 洞内取二等水准每公里偶然中误差 1.0 mm 进行估计计算。

$$m = \sqrt{m_{\text{外}}^2 + m_{\text{内}}^2} = \sqrt{m^2 \times L_{\text{外}} + m_{\Delta}^2 \times L} =$$

$$\sqrt{4 \times 260 + 1 \times 30} = 32.71 \text{ mm}$$

根据估算, 即使地面高程控制网按二等附和路线绕道 108 国道, 水准线路长度达到 260 km, 洞内水准按二等水准精度观测, 完全能够满足竖向贯通限差的要求。

5 结论

就目前施工控制网布设技术而言, 影响长隧道贯通的主要因素是隧道内外的控制网布设精度, 洞外平面控制网采用 GNSS 观测为宜, 洞内平面控制网采用有较多多余观测量的双导线法可满足长隧道施工精度。引汉济渭工程越岭段洞外平面控制网采用二等 GNSS 精度施测, 洞外高程控制网采用二等水准测量的方式施测, 洞内平面控制网按二等导线的精度采用交叉双导线的形式进行测量, 洞内高程控制网采用二等水准的形式进行测量, 越岭段 3#~5#之间主洞部分可在满足规范要求的前提下实现精准贯通。

参考文献

- [1] 蒋建军, 刘家宏, 严伏朝, 等. 浅议引汉济渭几个关键技术问题[J]. 南水北调与水利科技, 2010, 8(5): 133-136.
- [2] 王喜奎, 蒋铁军. 矿山井下全站仪导线测量提高精度的方法探讨[J]. 甘肃科技, 2013, 29(5): 39-40.
- [3] 刘三枝, 高俊强. 地铁隧道地下控制导线测量布设方案对比分析[J]. 南京工业大学学报(自然科学版), 2006, 28(2): 56-58.
- [4] 李学仕, 周适, 王靠省, 等. 隧道洞内平面控制网形与数据处理方法实验研究[J]. 铁道勘察, 2016, 42(5): 4-8.
- [5] SL52-2015, 水利水电工程施工测量规范[S]. 北京: 中华人民共和国水利部, 2015.