

铁路隧道小净距斜交下穿既有高速公路隧道设计方案探究

高云天

中铁二院工程集团有限责任公司 四川 成都 610036

摘要：近三十年来，伴随着改革开放进程、国民经济持续发展、基建网络不断完备及新技术应用，国内隧道及地下工程已形成了蓬勃发展之势，大规模的高速铁路、高速公路、水利城市地铁等工程的建设，造成各类工程项目走廊通道势必会出现重叠现象，因此将会不可避免造成隧道工程结构的交叉下穿情况发生。

关键词：隧道近接；小净距；斜交下穿

新建隧道工程施工对既有隧道结构的影响主要体现在近接影响段地层沉降及进而引起的既有隧道结构变形，因此隧道近接处沉降影响范围及控制标准是工程设计的关键。

目前，对于城市环境下的盾构隧道，地表沉降标准大多借鉴常规地铁施工的经验，以30mm作为控制值^[1]。日本铁路隧道近接施工指南中隧道交叉的场合采用新建隧道的外径D'及工程结构之间的间隔进行工程之间近接度区间划分，一般划分为三个区间范围如表1所示，且当隧道间隔小于0.5D'（既有隧道外径）时，预计新建隧道工程施工会对既有隧道结构有重大影响，应慎重处理^[2]。胖涛^[3]对铁路隧道小角度斜交下穿公路隧道设计进行探讨，以隧道近接处地层沉降可能引起既有隧道衬砌结构开裂破坏而危及结构安全作为控制标准，以15mm作为地层沉降控制标准。

表1 近接度区间划分表

两座隧道的位置关系	隧道间隔	近接度的划分
新建隧道比既有隧道高的位置	<1.5D'	限制范围
	1.5~3.0D'	注意范围
	>3.0D'	无条件范围
新建隧道比既有隧道低的位置	<2.0D'	限制范围
	2.0~3.5D'	注意范围
	>3.5D'	无条件范围

本文以都四项目新建隧道下穿既有隧道为例，先通过隧道开挖过程与地表沉降的时态关系，采用Peck提出的横向地表沉降分布预计公式确定交叉段施工影响范围，并通过《公路隧道养护技术规范》衬砌结构安全评定状况值来制定下穿影响段既有公路隧道的沉降控制标准；进而通过隧道下穿工程类比，拟定新建隧道支护结构措施及工法，并对下穿施工过程中公路隧道的预计沉降值进行数值模拟分析，最后制定完善的工程风险应对措施，确保近接隧道施工的安全可靠。

1 工程概况

都四项目起始于成灌铁路都江堰站，线路于都江堰市设永丰站、虹口站、龙池站，经汶川县设映秀站，过卧龙特别行政区设耿达站、卧龙站、邓生沟站、巴朗山站，止于小金县四姑娘山镇设终点站四姑娘山站。

1.1 地质条件

隧址区处于青藏高原与四川盆地过渡的龙门山低中山区，地形陡峻，起伏大。穿越地层主要为徽江-晋宁期第四期岩浆岩斜长花岗岩。地表水总体不发育，地下水主要类型有第四系土层孔隙水和基岩裂隙水。近接下穿处隧道洞身埋深约326m，围岩为斜长花岗岩，级别判定为IV级。

1.2 既有映秀隧道状况及交叉状况

既有都汶高速映秀隧道是一座上、下行分离的四车道高速公路特长隧道，隧道建筑限界净宽10.0m，净高5.0m，沥青混凝土路面。近接下穿处既有隧道采用IV型衬砌断面，支护参数如下：初期支护为18cm厚C20喷砼，φ22药卷锚杆，长度3m，二衬为35cm厚C25素砼，预留变形量7cm，设拱墙格栅钢架，1m/榀；既有隧道开挖跨度12.26m，高度9.6m。

由于新建隧道出口端紧邻国道G213，道路交通量大，受立交桥梁行车净空限制且为避免隧道洞内出现“V”字坡，故勘测定线阶段采用3‰的纵坡斜交下穿既有隧道上、下行线，新建隧道与既有隧道近接下穿处结构间隔仅5.8m，如图1所示。

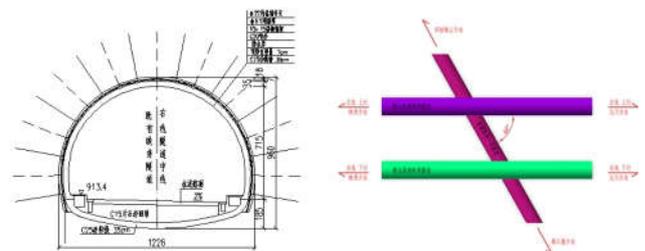


图1 既有隧道结构及交叉示意图

2 地层沉降范围及控制标准

2.1 沉降影响范围

袁竹论文中提到地下工程采用暗挖法施工时,地表会由于“时空效应”造成开挖前进方向上的地层出现扰动和土体损失,在自由表面上形成不同深度和宽度的沉降槽,其形状采用一定的曲线形式表示。Peck教授及其他学者根据地表沉降实测数据作了大量工作,确定了沉降曲线特征参数,使之成为目前最为广泛应用的预测隧道施工造成地表沉降的经典方法,如图2所示。

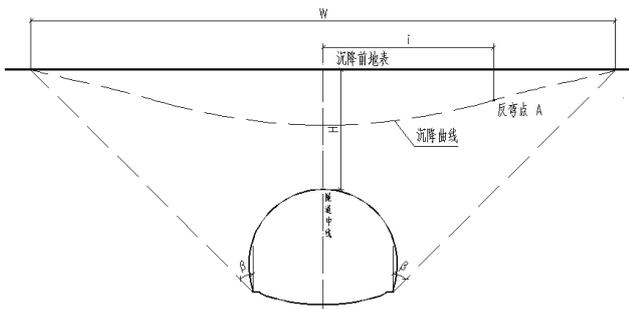


图2 Peck沉降曲线示意图

隧道监测范围W按以下公式^[3]确定

$$W = (5 \sim 6) i \quad (1)$$

i—沉降槽宽度系数,计算公式如下:

$$i = Z / \sqrt{2\pi} \cdot \tan(45^\circ - \beta/2) \quad (2)$$

Z——隧道深度, $Z=H+R$

β ——地层内摩擦角

R——隧道等效半径

按 $W = 6i$, 新建隧道等效半径 $R = 5.5\text{m}$, 地层内摩擦角 $\beta = 50^\circ$ 参数取值, 经计算, $W = 46.02\text{m}$, 按50m考虑沉降影响范围。

2.2 沉降控制标准

以《公路隧道养护技术规范》^[4]中由外荷载作用引起的基于衬砌变形速率造成衬砌结构评定处于不安全状态为依据, 养护规程4.5.3条规定: 当年变形速度 $v \geq 10\text{mm}$ 时, 衬砌结构技术评定为4类, 即土建结构处于严重破损阶段, 应尽快实施病害处治及交通管制。结合既有隧道衬砌裂缝情况, 沉降控制标准按10mm考虑。

3 支护结构措施及工法

3.1 超前支护措施

新建隧道拱部120°范围设 $\phi 108$ 大管棚超前支护一次性通过既有隧道近接交叉处, 单根长35m, 环向间距为0.4m, 外插角1°~3°, 管棚下方岩体采用 $\phi 42$ 小导管超前支护加强, 外插角10°~12°, 单根长4.0m, 纵向间距2.4m, 环向间距为0.4m。

3.2 衬砌支护措施

新建隧道近接设计段初期支护采用25cm厚C25喷射混凝土, $\phi 8$ 钢筋网, 拱墙 $\phi 22$ 组合中空锚杆, 长度3.5m, 间距1.2m×1.0m(环×纵), 全环I18型钢, 0.6m/榀, 二次衬砌采用45cm厚C35钢筋混凝土, 如图3所示。

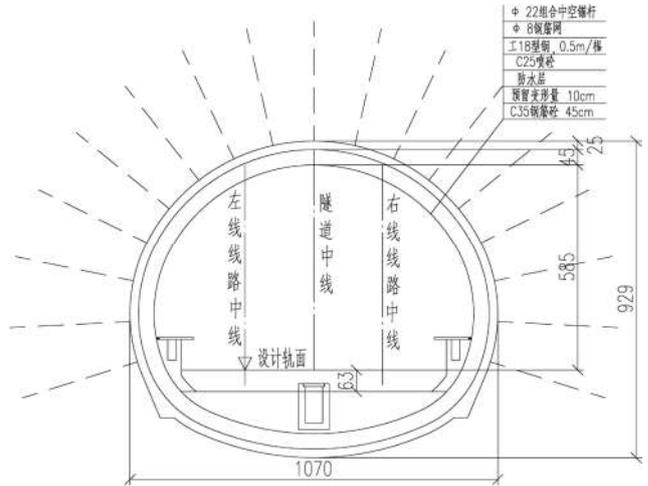


图3 新建隧道衬砌断面设计图

3.3 施工工法

由于近接交叉处两隧衬砌结构净距仅为5.8m, 小于重大影响范围0.5D(约6.1m), 一般隧道钻爆法施工会对既有隧道衬砌结构存在重大安全隐患, 因此新建隧道对既有隧道施工影响区域范围内采用非爆破施工。

4 数值分析

对新建隧道拟定衬砌支护措施及工法, 通过结构分析程序MIDAS-GTS-NX建立三维地层结构模型, 采用数值模拟进行分析验证。

4.1 模型建立

建模中地层采用摩尔-库仑模型和实体单元, 衬砌采用弹性模型和板。模型边界根据《公路隧道设计细则》9.3.3条规定建立, 如图4所示。

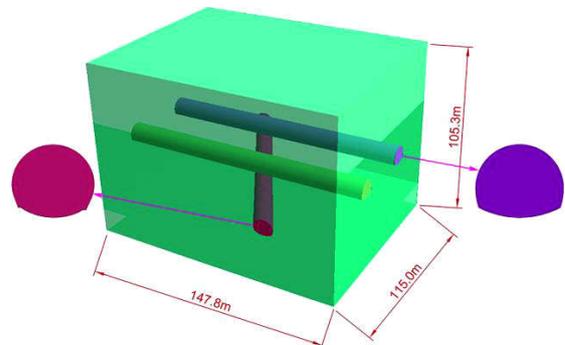


图4 计算模型图

4.2 计算参数

依据相关规范及地质资料, 选取参数如表2所示。

表2 计算参数表

项目	弹性模量E/GPa	泊松比 μ	容重 γ /kN/m ³	黏聚力c/kPa	内摩擦角 φ (°)	抗拉强度T/MPa
斜长花岗岩	60	0.22	26	30000	50	15
新建隧道初支	30	0.21	23	—	—	1.78

4.3 数值分析

通过模拟计算，新建隧道开挖后整体模型地层沉降图、新建隧道初支弯矩及位移、既有隧道结构位移如图5所示。

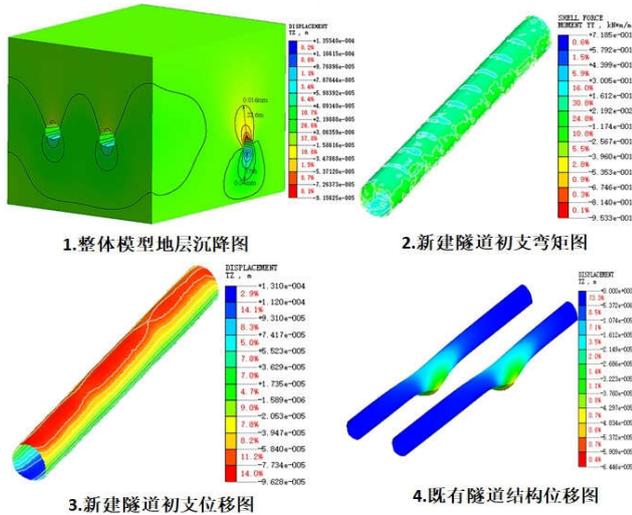


图5 模拟计算结果

数值分析显示，开挖后既有隧道仰拱附近的地层最大沉降为0.064mm；新建隧道初支最大沉降值为0.096mm，新建隧道初支内力值较小，结构检算中控制截面的安全系数均较大。

5 监控量测

按照近接交叉处沉降影响范围及沉降控制标准，以两隧交叉位置为中心，向既有运营隧道两侧50m范围内以距交叉点1m，3m，7m，12m，17m，25m对称布设监测断面。每个监测断面布设4个监测点，分别位于左右边墙

及路面左右处，监测频率不小于4次/d。

6 结束语

本文以都四项目新建隧道近接下穿既有隧道设计为研究对象，通过对近接处沉降影响范围及沉降控制标准总结，并通过数值模拟计算分析进而确定支护措施合理性，为今后隧道近接下穿工程点设计和施工提供参考依据。结论如下：

- 1) 小净距隧道下穿既有工程，可通过Peck公式理论分析其影响范围，进而确定影响范围内相关支护措施。
- 2) 隧道勘测选线期间尽可能使新建隧道与既有隧道近接间隔控制在限制范围以外，若受条件限制，净距小于1.0D时，建议采用非爆破工法施工，以降低震动对既有结构的损坏。
- 3) 施工前应对近接下穿处既有构筑物进行实地调查，并对土建结构技术状况类别进行评估，并于施工期间实行双控动态监控量测，超过预警值，立即启动应急预案措施。
- 4) 由于岩土工程不可预见因素较多，实践性强，数值分析的存在一定局限性。

参考文献

[1]TB 10181-2017.铁路隧道盾构法技术规程[S].北京:国家铁路局,2017.
 [2]袁竹.矿山法隧道下穿铁路沉降影响分区研究[D].西南交通大学,2010.
 [3]胖涛.铁路隧道小角度斜交下穿公路隧道设计探讨[J].隧道建设,2013,33(7):573-578.