

临近既有隧道桩基近距离爆破开挖安全性评估

李辉

中国铁路设计集团有限公司, 天津 300300

[摘要] 临近既有隧道进行近距离爆破开挖, 振动波会通过地层传给对振动特别敏感的既有隧道, 引起既有隧道承受爆破振动附加力, 危及既有隧道围岩和衬砌结构的安全和稳定。文章结合理论分析与数值计算, 针对临近某隧道的桩基爆破开挖工程进行了安全性评估, 并根据结果提出相应对策, 从而减少诱发振动到可以承受的程度, 确保既有隧道的安全。

[关键词] 爆破开挖; 桩基; 隧道; 数值分析

DOI: 10.33142/ec.v5i1.5216

中图分类号: U455

文献标识码: A

Safety Evaluation of Short Distance Blasting Excavation of Pile Foundation Near Existing Tunnel

LI Hui

China Railway Design Group Co., Ltd., Tianjin, 300300, China

Abstract: Close blasting excavation is carried out near the existing tunnel, and the vibration wave will be transmitted to the existing tunnel, which is particularly sensitive to vibration through the stratum, causing the existing tunnel to bear the additional force of blasting vibration, endangering the safety and stability of the surrounding rock and lining structure of the existing tunnel. Combined with theoretical analysis and numerical calculation, this paper evaluates the safety of pile foundation blasting excavation engineering near a tunnel, and puts forward corresponding countermeasures according to the results, so as to reduce the induced vibration to a tolerable degree and ensure the safety of the existing tunnel.

Keywords: blasting excavation; pile foundation; tunnel; numerical analysis

引言

在道路、桥梁、矿山、隧道、水利水电、基坑、孔桩、管道沟等工程施工中, 经常使用炸药雷管等爆破材料对土石方进行爆破, 以达到开挖的目的。爆破开挖时, 大量炸药爆破释放的能量部分直接以应力波的形势传播到周围岩体中, 并进而引起变形。临近既有隧道进行近距离爆破开挖有可能会使既有隧道出现不同程度的隧道拱顶开裂、边墙开裂、拱顶空洞衬砌损坏、围岩大变形、衬砌厚度减薄、混凝土强度降低等病害, 威胁既有隧道的安全稳定运营, 且随着地下空间利用的发展, 此类工程定会日益增多, 对临近既有隧道近距离爆破开挖进行安全性评估, 预测既有隧道结构所受动力及静力影响, 是当前亟需解决的问题。

1 工程概况

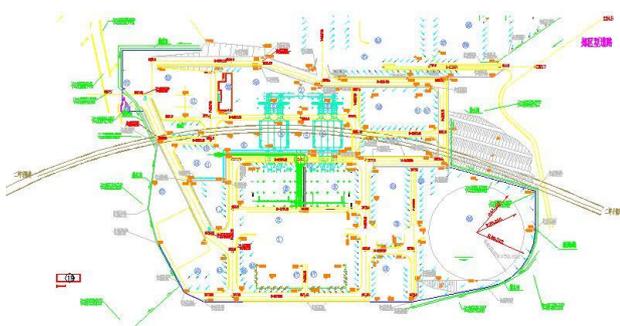


图1 隧道及车站平面布置图

受规划场地限制, 某煤矸石发电技改工程的火电厂厂址位于某单线铁路隧道上方, 该隧道全长为 634m, 隧道拱顶覆土为 13~27m, 见图 1。隧道修建于上世纪 70 年代, 由于当时施工条件差, 隧道衬砌质量较低。由于隧道漏水严重, 衬砌破损变形严重, 曾于 1984 年对隧道拱部进行了病害整治, 但是边墙、拱脚及部分地段拱腰破损及渗漏水仍然严重, 在各渗漏水处沿隧道壁沉淀了厚度不一的灰华层。

由勘察报告可知, 隧道穿过地段地质较复杂, 主要地质成分为粉质黏土、中细砂、粉土、卵石土、黏土岩与粉砂岩等, 隧道洞身除个别地带基底位于岩层表面外, 均位于土层内。隧道洞身所处地层属 V 级围岩, 地质情况极为不良。地下水丰富, 对混凝土无侵蚀性, 对钢结构有弱腐蚀性。

新建电除尘器用房近接该隧道施工。按相关单位前期评估要求, 设计中电除尘器用房采用端承桩基础, 并置于隧底以下 2m, 设计采用人工挖孔桩施作, 见图 2、3、4, 人工挖孔桩距离隧道最小距离仅为 1.1m, 施工难度大, 施工风险高。根据现场初期施工提示的地质条件为大块卵石土, 采用人工风镐开挖十分困难, 开挖距离设计标高平均还有 5~6m 时, 施工工期严重滞后, 雨季即将来临, 按此下去, 无论对电厂施工, 还是对铁路隧道都将产生不利影响。相关单位提出采用爆破开挖方案, 鉴于该铁路隧道衬砌结构的年久失修、病害突出的现状, 临近隧道进行近距离爆破开挖施工风险较大, 因此探究近距离爆破开挖对

表1 最大段装药量、起爆分段数及进尺统计表

桩号	桩径(m)	断面面积(m ²)	桩中心距隧道衬砌外侧距离(m)	最大段药量(kg)	单位药量(kg/m ³)	全断面爆破进尺(mm)	分段(如:五段)爆破进尺(cm)
1	2.0	3.14	2.8	0.245	1.6	45	22.5
2	3.2	8.04	2.7	0.254	1.8	19	9.5
3	2.0	3.14	2.6	0.236	1.6	42	21
4	2.0	3.14	6.4	0.581	1.6	103	51.5
5	3.2	8.04	6.7	0.609	1.8	47	23.5

注:全断面爆破进尺的总药量=最大段药量;分段爆破进尺的总药量=分段数×最大段药量

该隧道的影响,提出合理的、行之有效的、经济的工法、工艺及对策措施显得尤为重要。

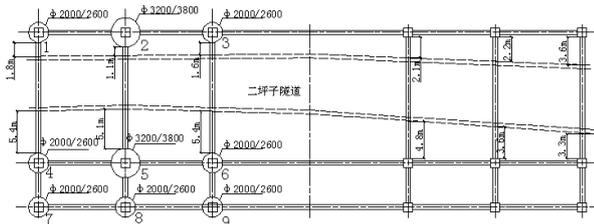


图2 电除尘厂房桩基与隧道关系平面图



图3 施工中的人工挖孔桩



图4 桩基施工现场

2 理论分析及数值模拟

2.1 经验公式分析

按照《爆破安全规程》中推荐的萨道夫斯基公式进行最大段装药量计算

$$R = \left(\frac{K}{V} \right)^{1/\alpha} Q^m \quad (1)$$

式中:R——爆破地震安全距离,m;Q——炸药量,kg;齐发爆破取总炸药量;微差爆破或秒差爆破取最大一段药量;V——地震安全速度,cm/s;m——药量指数,取1/2;K、α——与爆破点地形、地质等条件有关的系数和衰减指数。根据实际情况,取中硬岩的参数,即:K值为150,α值为1.8。

根据《安全爆破规程》第8.2.1条的要求,同时根据检测单位提供的隧道回填情况及厚度检测报告知,该隧道二衬背后存在空洞等缺陷,且边墙、拱脚、部分地段拱腰破损及渗漏水严重,在各渗水处沿隧道壁沉淀了厚度不一的灰土层。

故取控制振速(允许最大质点振动速度)为2cm/s。

根据以上参数,运用萨道夫斯基公式,对靠近隧道两侧的人工挖孔桩进行计算,结果如表1所示。

2.2 爆破震动计算理论

(1) 动力学方程:

$$[m]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \{F(t)\} \quad (2)$$

式中:[m]——质量矩阵

[C]——阻尼矩阵

[K]——刚度矩阵

{ü}、{u̇}、{u}——分别为加速度、速度和位移列阵;

{f(t)}——动荷载

(2) 计算中采用纽马克积分,所需的两个参数如下式:

$$\delta \geq 0.5$$

$$a \geq 0.25(\delta + 0.5)^2$$

(3) 阻尼

采用比较通用的瑞利(Rayleigh)阻尼,如下:

$$[C] = \alpha[m] + \beta[K] \quad (3)$$

式中:

$$\alpha = \xi \omega_1$$

$$\beta = \xi / \omega_1 \quad (4)$$

其中ω₁是基频,由模态分析得到,ξ为阻尼比,取为0.01。

2.3 数值分析

大量的爆破地震监测结果和计算表明通常以中心掏槽爆破和周边孔爆破所造成的围岩震动最大,又以中心掏槽爆破情况居多,因此在此选用中心掏槽爆破荷载作为动力荷载进行数值计算。爆破荷载实际上为一条具有加载和卸载过程的平滑曲线,根据计算和爆破的实际情况,在不失一般性的条件下,将荷载曲线简化为一条三角形波。其中P_{max}为炮孔壁面上的峰值压力,与炸药品种、装药结构和围岩性质等因素有关,根据以往经验取值为(1.0~1.2)×10⁴MPa,但目前尚无一种理论方法能计算其准确值。最后取P_{max}=1.1×10⁴MPa。由于挖孔具有较大尺寸,作用于井壁上的压力又有较大的衰减,根据既往量测数据的反演分析,根据本工程的地质条件,在全断面开挖时,按1.25kg最大段药量计;在考虑减震爆破时,按0.25kg最大段药量计,按并假设爆破荷载以压力形式的均布荷载作

用在桩壁上,作用方向为周边的法线方向。爆破荷载曲线典型的加载到峰值应力的升压时间为 8~12ms,卸载时间通常为 40~120ms,在此取加载时间为 10ms,卸载时间 90ms。

简化为平面应变问题进行解析,由于有限元计算只能采用有限尺寸体,隧道围岩在爆破震动影响下的线性动力分析可视为无限体中局部表面作用的动载问题,因此必须从无限体中截取有限体来计算。在这一区域截取中,必然带来边界条件问题,而且直接影响计算结果反映真实结果的程度。因此除上边界为自由边界外,其余三边采用人工吸收边界,施工隧道周边为爆炸压力荷载边界,既有隧道周边为自由边界。根据资料,岩石的动弹模约为静弹模的 5~10 倍,在此取为 10 倍。

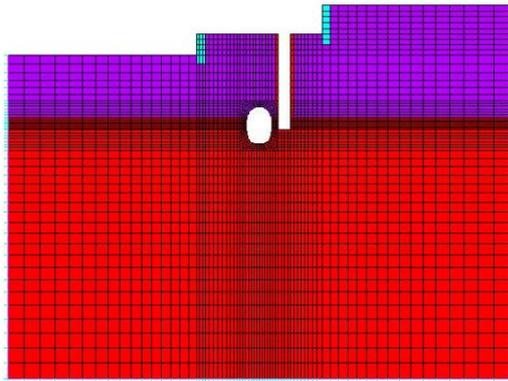


图 5 模型网格图

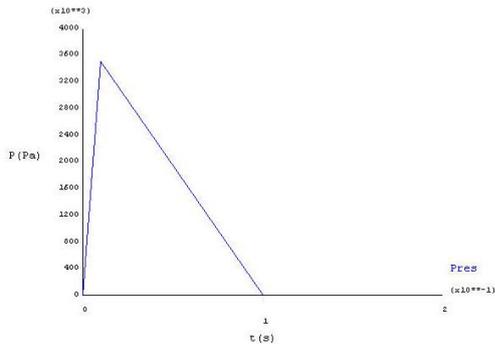


图 6 数值计算爆破荷载简化三角波形图

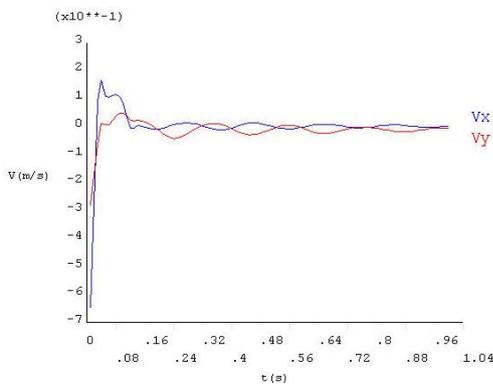


图 7 常规爆破振动速度时程曲线

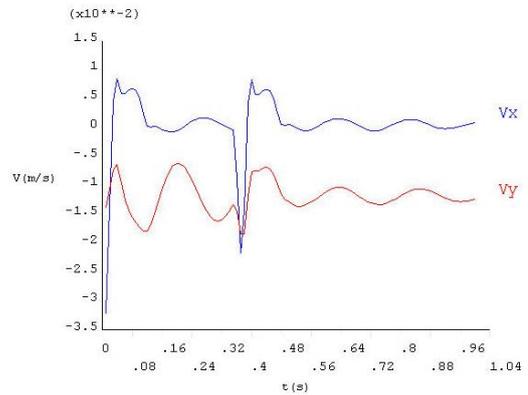


图 8 减震爆破振速时程曲线

从图可见,当采用常规全断面爆破开挖时,按 1.25kg 最大段装药量计,隧道边墙最大振速达到 15cm/s,不满足要求;当采用减震分段起爆开挖时,按 0.25kg 最大段装药量计,隧道边墙最大振速为 2cm/s,满足要求。

3 结论与建议

(1) 通过分析计算,若按常规手段进行爆破,爆破振速超过规范要求;如采用减震爆破技术并辅以临时加固和爆破振动监测,爆破振速可满足规范要求,据此进行爆破作业是可行的;

(2) 为确保既有隧道结构的安全,在进行爆破挖孔前,将正对桩段的衬砌进行钢拱架临时加固,推荐采用易于拆卸或在下部设导轨,便于移动至下一爆破段,加固结构见图 9 所示,纵向有四榀型钢拱架组成,纵向用 $\Phi 20$ 钢筋连接成整体,间距 1m;

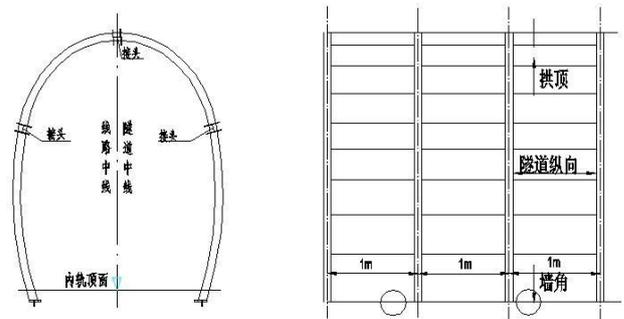


图 9 临时加固钢架示意图

(3) 由于挖孔桩邻近隧道施工,若用常规爆破手段,不能满足爆速控制要求,为达到减小由爆破引起的衬砌结构的质点振动速度,必须采用减震爆破,具体措施:严格控制最大段用药量,减小爆破能量对既有隧道的附加荷载;为了避免振动波的叠加,进行分段起爆,并要选择合适的段间间隔时间和高精度毫秒雷管,可最大限度减小爆破振动叠加,并尽可能达到干扰抵消效果,以实现干扰减振;同时,不允许在列车通过时进行爆破,各桩孔应交替进行爆破,不允许两根以上的桩同时起爆,以免爆破效应叠加;建议采用风镐预钻中心扩大空孔掏槽形式,以空孔作为掏

槽孔爆破时的临空面,为了减小掏槽引起的振动效应。

(4) 应先进行爆破试验,取得成功经验之后,方可全面应用,并从试验开始到全部桩基爆破开挖完成,应对既有隧道进行爆破振动监测,监测要委托有资质的第三方进行;

(5) 为了控制超欠挖和减少振动,在采用爆破法开挖时应运用光面爆破技术;

(6) 根据《安全爆破规程》及该隧道健全度情况,取控制振速 2cm/s 作为爆破振动监控标准。

[参考文献]

[1] 仇文革. 地下工程近接施工力学原理与对策研究[D].

成都:西南交通大学博士学位论文,2003.

[2] 洪超,张继春. 并行小净距隧道楔形掏槽爆破振动效应研究[J]. 石地下空间与工程学报,2019(2):66.

[3] 关宝树. 隧道工程设计要点集[M]. 北京:人民交通出版社,2003.

[4] 戴俊. 岩石动力学特性与爆破理论[M]. 北京:冶金工业出版社,2013.

[5] 李小贝. 爆破施工对邻近既有隧道的振动响应研究[J]. 爆破,2021(6):45.

作者简介:李辉(1987.11-)男,毕业院校:西南交通大学;现就职单位:中国铁路设计集团有限公司。