

近基础设施的爆破开采区安全性分析与控制

施富强

(四川省安全科学技术研究院,成都 610045)

[摘要] 结合长期开展爆破开采区保护对象安全性论证的实例,系统分析爆破振动对桥梁、隧道及边坡的影响以及相互间的力学关系。应用风险分析原理提出安全论证方法和控制危险有害因素的技术手段,并以划区控制爆破参数的普适工艺建立标准化的过程控制体系。

[关键词] 爆破开采;安全论证;桥梁;隧道;高陡边坡

[中图分类号] TU443 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2014)11-0086-04

1 前言

由于缺乏长远的科学规划,矿山采区经常会遇到与周边铁道、公路等基础设施建设相邻的问题,特别是涉及桥梁、隧道及高边坡穿越矿山造成冲突。要在保证交通运输安全的前提下,最大限度地降低对既有矿山资源利用的影响,并采用最简便有效的开采工艺,达到基础建设与资源开发和谐发展的目标,是安全分析与控制技术^[1]的责任。2003年以来,四川省安全科学技术研究院先后完成了《株六线增建第二线及电气化工程进入贵阳枢纽川黔货车外绕线经贵州水泥厂采区边缘安全性论证评估报告》、《成昆铁路渡口支线攀枝花徐家沟铁矿采矿爆破安全性论证》和《攀枝花徐家沟铁矿与丽攀高速公路临近区域爆破开采限界安全性论证报告》等影响较大的论证项目。在经历十余年的安全生产考验、深化、总结后,技术方法日臻成熟,供其他学者分享。

2 依据法律、法规及技术标准研究制定方案

安全性论证应充分体现科学、公平、公正、合法,在实地勘察的基础上,系统地分析和预测论证对象存在的固有风险、条件风险和关联风险,从法律层面考虑刚性要求和弹性尺度,从技术层面剖析本构关系并优化实施工艺,在管理层面制定科学方案和过程控制方法,为服务对象提供全方位的技术支持。法律、条例、标准及办法、通知、批复等内容涉及面广且常有自相矛盾之处,特别是不同管理部门从各自管理角度出发颁布的文件多有相背之处,应本着共同遵守上位法的原则,提出与现实和谐妥协的安全建议,这往往是论证工作的难点,通常需要严谨的技术分析提供支撑。据此,设计出论证工作的主体方案,编制出详细的实验研究计划和安全论证报告大纲。

[收稿日期] 2014-04-21

[作者简介] 施富强,1961年出生,男,山西大同市人,教授级高级工程师,硕士,主要从事工程爆破与安全工程研究;E-mail:sfq@swjtu.cn

3 桥梁安全性分析

通常桥梁具有较高的抗震能力,当临近爆破开采区时,一方面要分析持续的爆破振动对桥梁结构本身的作用和影响;另一方面要分析桥梁基础的承载能力与开采设计的安全保障。

3.1 桥梁抗震稳定性分析

由于桥梁结构类型繁多,使用状况差异很大,在此条件下,不易通过载荷实验判定其安全现状。通常参考《爆破安全规程》(GB 6722—2003)规定的安全允许振速,并结合现场勘察结果,在征求运维专家意见的基础上,综合确定安全允许质点峰值振动速度,经过几年的实践,认为取 $[V_{\max}]_b=8 \text{ cm/s}$ 比较符合常规桥梁的安全要求,测振点选择在桥梁主跨的跨中位置。对于采区高程高于桥墩承台顶面工况,一般只做上述分析即可。当爆破开采区低于桥墩承台顶面时,则必须进行基础稳定性分析。

3.2 桥梁基础稳定性分析

近二十年建设的大桥多为承台+群桩基础,桥面与桥墩以及基础自身的载荷都由桩体直接传至基岩,理论上不需要桥墩周围的岩体提供承载力即能保证大桥桩基的稳定性。实际上,桩身与岩体之间存在摩擦,会影响到桥墩周围岩体的应力状态。爆破开挖后形成边坡,打破了岩体原有的局部平衡状态,对桥墩周边岩体产生不良影响。

西南交通大学赵文等对高陡边坡桥基安全距离提出了经验公式^[2]:

$$S=0.031\alpha 1.482 3[(1-1.865 5B)q/K_r]^{0.696 5} \quad (1)$$

式(1)中, S 为桥基水平距离,m; α 为边坡坡角, $(^\circ)$; K_r 为岩体质量系数,通过现场勘测获取; q 为荷载强度,MPa; B 为桥基宽度,m。

丽攀高速徐家沟大桥测得基岩质量系数 $K_r=0.805$,边坡角 $\alpha=60^\circ$,桥基宽度 $B=8.5 \text{ m}$,荷载强度 $q=0.8 \text{ MPa}$,于是得到桥基水平安全距离为 10.5 m ,即要求爆区边坡上缘距桥基边缘应大于 10.5 m 。

4 隧道安全性分析

隧道抗震能力通常高于桥梁,根据《爆破安全规程》(GB 6722—2003)确定安全允许质点峰值振

速 s 较为常见。当隧道高程高于采区时,则还应当计算分析边坡卸荷带对隧道安全性的影响。

重庆交通大学陈洪凯等建立了开挖岩体边坡卸荷带宽度计算公式^[3]:

$$B=0.045 \alpha \frac{CH \text{tg} \beta}{b\gamma \text{tg} \varphi} \quad (2)$$

式(2)中, B 为边坡开挖卸荷带平均宽度,m; H 为边坡开挖高度,m; b 为边坡开挖台阶宽度,m; β 为边坡开挖坡度, $(^\circ)$; C 为边坡岩体粘聚力,KPa; φ 为边坡岩体内摩擦角, $(^\circ)$; γ 为边坡岩体容重, kN/m^3 ; α 为开挖修正数,爆破开挖时 α 取1.2,机械、人工开挖时 α 取1.1。

丽攀高速徐家沟隧道附近采区永久性边坡设计参数为台阶高度 $H=12 \text{ m}$,台阶宽度 $b=2 \text{ m}$,边坡角 $\beta=60^\circ$,岩体容重 $\gamma=30.38 \text{ kN/m}^3$, $\alpha=1.2$, $C=1\ 000 \text{ kPa}$, $\varphi=46^\circ$ 。于是得出开挖边坡卸荷带宽度为 17.8 m ,即要求采区边坡限界应保持在隧道外廓 17.8 m 之外。

5 边坡稳定性分析

为了全面掌握矿区永久性边坡对桥梁隧道的时效性影响,还应该对边坡设计进行安全性、稳定性分析。采用有限元法,建立开挖后的二维边坡有限元模型,研究不同坡角的荷载分布,为工程控制和持续运维提供技术依据。图1~图4给出应用Midas GTS Trial 软件,研究徐家沟矿区(微风化辉长岩)当台阶高度为 12 m ,台阶宽度为 2 m ,坡角分别为 65° 、 60° 、 55° 和 50° 时的变形分析结果。

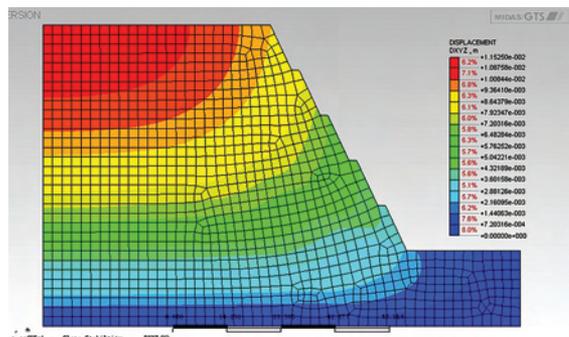


图1 边坡位移 ($\alpha=65^\circ$)

Fig. 1 Slope displacement ($\alpha=65^\circ$)

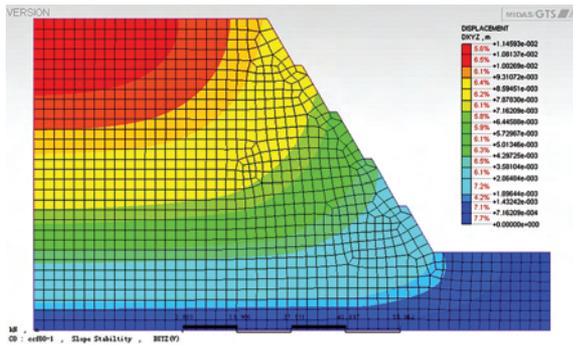


图2 边坡位移 ($\alpha=60^\circ$)

Fig. 2 Slope displacement ($\alpha=60^\circ$)

计算分析结果表明,当边坡角为 65° 、 60° 、 55° 和 50° 时,对于形成的五个台阶永久性边坡来讲,因开挖造成的岩体偏移量分别为0.69 mm、0.62 mm、0.56 mm和0.56 mm,即当边坡角小于 55° 时,偏移量变化很小,可视为处于稳定状态。

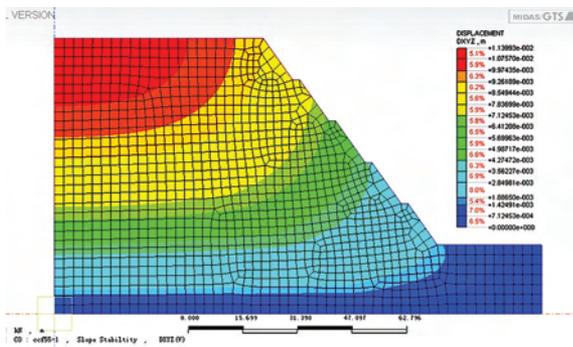


图3 边坡位移 ($\alpha=55^\circ$)

Fig. 3 Slope displacement ($\alpha=55^\circ$)

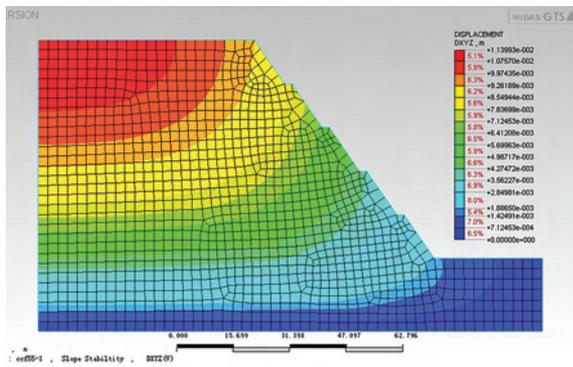


图4 边坡位移 ($\alpha=50^\circ$)

Fig. 4 Slope displacement ($\alpha=50^\circ$)

但当边坡角为 70° 时,边坡角出现较大位移,特别是最下端台阶可能会出现溃裂,伴随着风化过程,极易导致崩塌(见图5)。若将桥基载荷加在距边坡上缘10.5 m处时,即在8.5 m范围内,施加0.8 MPa的载荷,边坡角为 65° 的边坡仍可处在稳定

状态(见图6)。

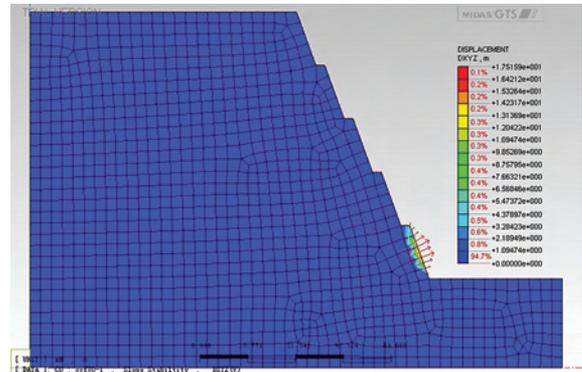


图5 边坡位移 ($\alpha=70^\circ$)

Fig. 5 Slope displacement ($\alpha=70^\circ$)

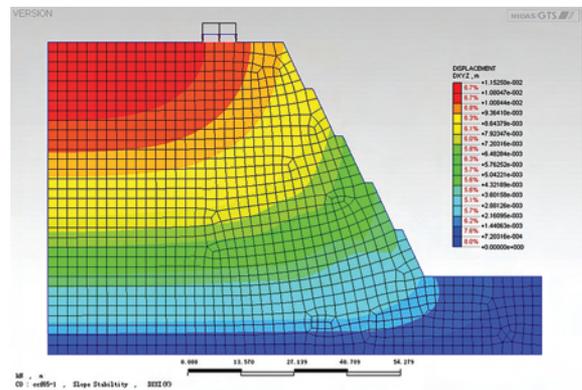


图6 桥基压力对边坡位移的影响

Fig. 6 Slope displacement affected by bridge pier pressure

在持续爆破振动影响下,可能对永久性边坡造成两种类型的失稳。一类是爆破振动引起自然高边坡失稳,另一类为在振动与风化共同作用下发生塌方失稳。长沙矿冶研究院通过实测得出,当振速 $v=8.1\sim 11.1$ cm/s时,出现松石及小块震落;当 $v=13.5\sim 24.7$ cm/s时,产生细裂纹或原裂缝扩张;当 $v\geq 46.8$ cm/s时,会导致边坡持续破坏。因此相比桥梁、隧道而言,在相同的环境条件下若能满足桥梁的安全性,正常隧道及边坡的稳定性亦得以保障。

6 爆破开采区划界控制

综合上述分析结果,合理的安全控制方案是针对基础设施所处的条件,分别提出安全控制要求,并以爆破振动安全允许距离划分采区限界,构成完整的采区控制爆破区划。实践表明,采取划分为禁采区、谨慎控制爆破区、控制爆破区和常规开采区四个区划比较实用^[4]。为了便于现场管理,通常根据爆破振动控制要求将区域内最大单段药量下限

值作为计算区划的主要参数,即将限制最大单段药量不超过 100 kg 的区域设定为禁采区;将限制最大单段药量为 100~1 000 kg 的区域设定为谨慎控制爆破区,并严格控制实际单段药量不超过 100 kg;将限制最大单段药量为 1 000~2 000 kg 的区域设定为控制爆破区,并严格控制实际单段药量不超过 100 kg;将最大单段药量可超过 2 000 kg 的区域设定为常规开采区,同样严格控制实际单段药量不超过 100~200 kg。这样有利于控制持续爆破造成的累计效应。

7 结语

全面系统地分析论证矿区爆破开采与周边基础设施的安全性是经济发展带来的新问题,需要因地制宜应用系统安全评价理论辨识各种危险有害因素,分析致损机理,提出安全控制设计和有效的过程控制体系,为企业提提供标准化的实施方案。经过十多年的经验总结,得出以下体会:a. 划区控制采区爆破参数和规模是简便易行、安全可靠的科学方

法;b. 采区与临近保护物的高程关系是重要条件,当爆破区域高于保护对象时,一般只考虑爆破振动对其的影响;反之应当考虑边坡自身的稳定性、安全性以及边坡对保护对象的影响,还应考虑爆破振动放大效应等因素;c. 高边坡稳定性分析结果表明,与保护设施相关联的永久性稳定边坡坡角应控制在 60°以内为宜;d. 当采区附近存在多处保护对象时,应逐一分析、逐一满足安全要求,当出现交叉区划时,需要合成分析,确保系统安全;e. 对于空间狭小的沟谷地段以及保护对象存在脆弱结构时,还应

参考文献

- [1] 施富强,汪平,柴俭,等.铁路干线附近采矿爆破安全性论证研究[J].工程爆破,2009,15(2):82-86.
- [2] 赵文,谢强,李娅.高陡边坡桥基安全距离研究[J].铁道工程学报,2006,(6):47-50.
- [3] 陈洪凯,易丽云,唐红梅,等.开挖岩体边坡卸荷带宽度的计算方法[J].防灾减灾工程学报,2011,31(4):358-368.
- [4] 施富强.爆破振动影响安全评价定量分析研究与应用[J].工程爆破,2009,15(4):62-65.

Safety analysis and control of mine-blasting field adjacent infrastructure

Shi Fuqiang

(Sichuan Academy of Safety Science and Technology, Chengdu 610045, China)

[Abstract] With mine-blasting field examples meeting the needs of protected object safety demonstration for a long time, systematically analyze the impact of blasting vibration on bridges, tunnels and slopes, etc., and the mechanical relationships between each other. Using of risk analysis principles, it puts forward safety demonstrating method and hazardous factors controlling technique, and establishes the common procedure of blasting parameters zoning control to realize a standardized process control system. The technology has been gradually improved after several applications.

[Key words] mine-blasting; safety demonstration; bridges; tunnels; high-steep slopes