

文章编号: 1005-0523(2006)04-0001-04

数种情形下土钉的瞬态应变累积效应分析

喻晓今, 余学文, 张 豫

(华东交通大学 土木建筑学院, 江西 南昌, 330013)

摘要: 概述了洞室土钉支护抗动载试验的基本情况, 并给出了洞室拱顶土钉的测试数据. 依照实验现象, 考察对比了毛洞与土钉支护段与土钉支护构措段的瞬态应变和炸药药量的关系, 及其三者的瞬态应变和加载次数的关系; 指出了药量、加载次数、不同的支护参数是影响瞬态应变的重要因素, 构措段具有最好的降低应变的能力, 有最好的抗变形能力. 综合考虑前两方面的情况, 提出了累次应变综合值的概念.

关键词: 土钉支护; 洞室; 爆炸荷载; 累次应变综合值

中图分类号: TU470.3, TD235, TU449, TU4

文献标识码: A

0 引言

为了描述土钉支护抗动载机理, 进行了洞室土钉支护抗动载性能试验. 土钉支护法应用于地下洞室是探索课题, 类似的试验, 国内外鲜有报道. 对上述土钉支护抗动载试验中的测试土钉的瞬态应变进行试验数据的分析整理、理论模型的研究探讨.

以实验所察现象为依据, 考察对比毛洞与土钉支护段与土钉支护构措段的瞬态应变和炸药药量的关系, 及其三者的瞬态应变和加载次数的关系, 观察有关量的走势, 指出临界破坏的影响因素. 根据临界破坏现象的宏观约定, 得到洞室相应的临界应变和相应的临界加载次数. 此外, 综合考虑前两方面的情况, 在无资借鉴前人经验的情况下, 提出新的概念和新的表达参量.

1 土钉支护抗动载试验概况

1) 试验条件

(1) 试验方法与加载技术

本试验以实际洞室为母体, 洞形为直墙圆拱形, 用一段水平洞体, 分毛洞段、有土钉支护段及土钉支护加构造措施段(以下分别简为: 毛洞、支护段和构措段)等情形进行试验,

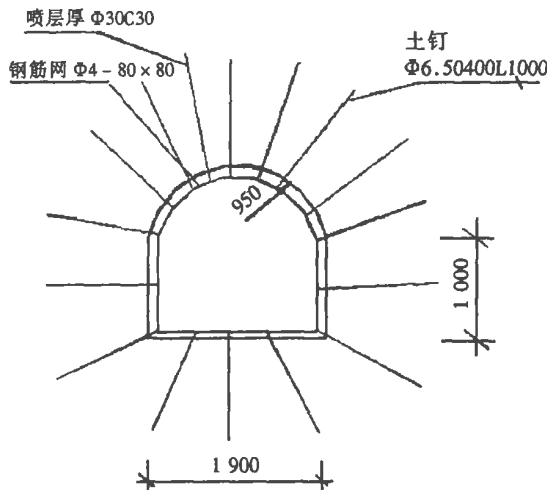


图 1 土钉支护试验段支护参数设计之横断面

毛洞即不支护洞, 支护段横断面见图 1, 构措段即在支护段土钉内端延伸方向造一圆柱空腔, 腔径即土钉孔径 $\phi 60$, 腔长 400. 土钉工程状况是, 由水泥浆包裹钢筋土钉体. 爆炸荷载以 TNT 炸药点爆方式

收稿日期: 2006-01-24

基金项目: 华东交通大学科研基金资助项目.

作者简介: 喻晓今(1959—), 男, 江西南昌人, 华东交通大学教授, 硕士, 从事应用力学研究.

中国知网 <https://www.cnki.net>

产生,爆心位于洞室测试横断面拱顶正上方.爆炸荷载的大小则以装药量控制,用逐级加载的方法实现.相对平面度为0.6.

(2) 试验场区工程地质条件

洞体位置主要是粉性黏土.主要指标为:含水量21%,容重18.5 kN/m,孔隙比70.7%,弹性模量66.64 MPa,泊松比0.13—0.27,凝聚力27.4 kPa,内摩擦角29°.

(3) 量测系统

本试验采用动态应变仪同时采集多点应变数据,数据的记录和储存则使用磁带记录仪和一数据动态采集测试记录系统.应变片沿测试土钉轴向均匀布置5个测点,测试土钉位于各段垂直投影形心处拱顶.

2) 试验认识

由于洞室拱顶土钉位置特殊,其轴线延长线通过爆心,且钉体钢筋直径与爆心距之比在0.004以下,加之土钉钢筋与黏结体、土体的波阻抗相差比较大,低碳钢的比混凝土、土体者分别大数倍、数十倍,故可以将研究对象土钉钢筋视为在一维平面波作用下的长杆,同时受应力波作用和土体黏结阻碍作用.

2 土钉瞬态应变的比较

有成果介绍了爆炸荷载作用下土体介质应力波的衰减情况等(总参工程兵科研三所,1989).本试验与众不同之处在于加有不同的支护,试验进行了爆炸荷载下洞室有无土钉支护、数种支护方式等变化的拱顶土钉应变测试等等.以下对瞬态应变、药量、加载次序关系进行分析.以了解相关条件下诸参数之间的规律.

瞬态应变与药量关系对于不同支护参数的变化特点是洞室抗动载性能的重要指标.此关系可揭示应力波在包括因不同支护等原因而改变了的介质中的传播特点.

为了避开可能的系统、随机等误差的影响,让每支土钉在一次加载中的5个测点应变值用一个值来代表,此值取为此5个样本值的中位数 $\tilde{\epsilon}$.毛洞段、支护段、构措段顶位土钉应变峰值中位数分别见表1、2、3;其与加载次数的关系见图2.

表1 毛洞段顶位土钉应变峰值中位数

加载次序	1	2	3	4
药量/kg	0.2	0.5	0.3	1
应变/ μE	132.9	377.7	67.4744	373.7

表2 支护段顶位土钉应变峰值中位数

加载次序	药量/kg	应变/ μE
1	0.2	1099.4
2	0.5	1170.9
3	0.3	778.1067
4	1	1959.0759
5	1.5	2386.1694
6	2	2646.0266
7	2.5	2137.9395
8	3	3704.2236
9	4	4563.5986
10	5	8505.2490

表3 构措段顶位土钉应变峰值中位数

加载次序	药量/kg	应变/ μE
1	0.2	996.46
2	0.5	725
3	0.3	714.8132
4	1	1101.6846
5	1.5	191.6504
6	2	1883.6335
7	2.5	1194.1349
8	3	2171.402
9	4	4341.5832
10	5	3417.2058
11	6	1974.6399
12	7	1899.292
13	8	2310.791
14	9	2183.8379
15	10	2041.7847
16	33	2465.0879

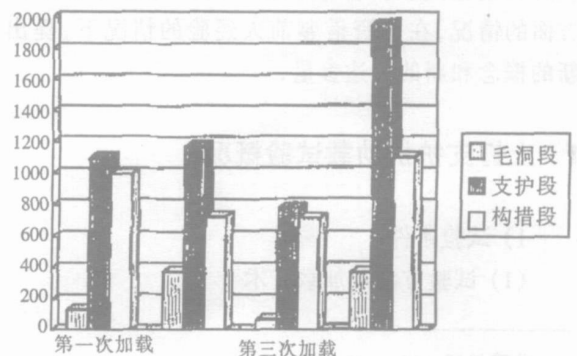


图2 顶位土钉应变峰值中位数与加载次数的关系

由以上数据可知,毛洞段应变走势不规律,应

该是土体压密效应和黏结松脱效应综合作用、复杂影响的结果.有资料显示,等量重复加载时,土体介质存在明显的压密效应,既介质通导应力波能力加强,土钉应变参数变大.这里提出的黏结松脱效应特指土钉与各黏结介质之间的宏、微观脱离粘连,其伴随动力压密效应发生,机理目前尚未完全明确,这里,总的效应应是松脱使土钉应变参数减小.

支护段应变经2个起伏后随药量加大而变大,说明土钉支护改变了土体介质动载下的物理力学性能,改变了前述无支护情况下的压密和松脱效应,使土体朝减弱这种效应作用的方向发展,即向成为相对典型的单一连续介质方向变化.支护段药量与应变基本成正向关系.

构措段则虽然应变总体逐渐抬升,但起伏交错,其很明显地展示出相对支护段而言,随加载过程加大了压密和松脱效应.

显见,药量、加载次数、不同的支护情况等等因素直接影响瞬态应变和洞体的破坏进程.由于每段相应的最后一次加载即出现临界破坏迹象,故试验显示破坏数据:(1)毛洞,动载作用4次,应变为373.7微应变.(2)支护段,动载作用10次,应变为8505.2490微应变.(3)构措段,动载作用16次,应变为2465.0879微应变.构措段具有最好的抗动载反复作用的能力.

3 实验数据处理

1) 瞬态应变中位值与加载次数拟合曲线

从表1、2、3可知,瞬态应变中位值的变化规律不甚明确,若以拟合曲线来描述其与加载次数的关系,则得如下三个三次方程

$$\text{毛洞有拟合曲线: } \tilde{\epsilon} = 0.1952 * x^3 - 1.4490 * x^2 + 3.2250 * x - 1.8384, \quad (1)$$

$$\text{支护段 } \tilde{\epsilon} = 0.0296 * x^3 - 0.3667 * x^2 + 1.5538 * x - 0.4908, \quad (2)$$

$$\text{构措段 } \tilde{\epsilon} = -0.0027 * x^3 + 0.0516 * x^2 - 0.0596 * x + 0.6588. \quad (3)$$

式中x为加载次数.各段最后一个瞬态应变的计算值与实测值的相对误差分别为:毛洞-0.0088;支护段-0.0621;构措段-0.2472.可见,要达到一定精度的曲线,其方程较为复杂,且不易直接观察数据的具体走向.因此,需再找既揭示复合作用规律又指向较为明确的更为方便的公式.

2) 累次应变综合值的提出

由于客观条件的限制,不可能象做金属材料的S-N曲线实验一样地多试件逐一测试,而是原位原土反复试验,如此,压密和松脱效应、药量与加载次数因素等交织在一起,使前表中的数据散布呈现某种不规则情况,即不能以应变的简单极值来断破坏值,如,三个试验段的临界破坏应变有两个并非自己出现的最大值.试验表明临界破坏的发生与药量大小有关,也与瞬态应变反复作用有关,是两者综合影响的结果.

为了方便综合辨别药量加大和加载次数增多这双重作用因素,找出一个简捷的表达式在所必然,这里建造一个累次应变综合值以达此目的.

以复变函数形式来表达此两方面综合效果,使临界破坏信号成为综合效果值中的模的极限,以便确认.设 $Z = X + i\tilde{\epsilon}$, (4)

式中,Z为累次应变综合值,X为加载次数, $\tilde{\epsilon}$ 为土钉应变中位数(单位: 10^{-3}).

将试验数据代入上式,达到预期的目标,Z的模为单增函数.临界破坏时,累次应变综合值的模确定为模的极限值,它们分别为:(1)毛洞段 $X=4$, $\tilde{\epsilon}=0.3737$, Z模为4.017.(2)支护段 $X=10$, $\tilde{\epsilon}=8.5052$, Z模为13.13.(3)构措段 $X=16$, $\tilde{\epsilon}=2.4651$, Z模为16.19.它们显示,对于临界破坏,构措段历程最长,毛洞最短.

4 结论

1) 瞬态应变与药量关系

药量、有无支护、不同的支护参数是影响瞬态应变的因素.毛洞在较小的药量、应变下即达临界破坏.支护段各级加载产生的应变值都大于构措段的相应值.构措段相对支护段而言达到了降低动应变的目的.

2) 瞬态应变与加载次数关系

加载次数、有无支护、不同的支护参数是影响瞬态应变的因素.毛洞段应变走势不规则,是土体压密效应和黏结松脱效应综合作用的结果,需进一步研究.构措段具有最好的降低应变的能力,有最好的抗变形能力.相应的拟合曲线见公式(1)、(2)、(3).

3) 累次应变综合值

一方面能反映加载强度大小,另一方面又表现加载历史长短,所得公式(4),用以表示毛洞段、支护段和构措段在动载下的瞬态应变、加载次数等综

合因素之间的复杂关系. 对应条件: 直墙圆拱黄土洞室, 直径 1 m; TNT 药量最大值, 毛洞 1 kg, 支护段 5 kg, 构措段 33 kg.

参考文献:

- [1] 总参工程兵科研三所. 土中喷锚网支护抗爆设计方法现场试验研究报告[内部资料] 1989; 25—28.
- [2] 陈肇元, 崔京浩主编. 土钉支护在基坑工程中的应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社. 1997.
- [3] 喻晓今, 曾宪明, 陈梦成. 土钉瞬态应力的试验研究[J]. 岩石力学与工程学报. 2004. 23(Supp. 1): 4438—4441.
- [4] 喻晓今, 陈梦成, 曾宪明. 轴向荷载下单一土钉应力的试验对比分析[A]. 扶名福, 宋固全, 刘英卫. 力学与工程实践[C]. 南昌: 江西科学技术出版社. 2004.
- [5] 史巨元编著. 钢的动态力学性能及应用[M]. 北京: 冶金工业出版社. 1993.
- [6] 过镇海. 钢筋混凝土原理[M]. 北京: 清华大学出版社. 1999.

Analysis of the Effect of Cumulation of Transient Strain on Soil Nail in Several Cases

YU Xiao-jin, YU Xue-wen, ZHANG Yu

(School of Civil Engineering and Architecture, East China Jiaotong University, Nanchang 330013, China)

Abstract: This paper summarizes the key elements of the field test on dynamic resisting force of the loess cavern and gives the test results of the soil nails on top of the arch. According to the phenomena of the experiment, it contrasts the naked cavern, the soil nail support cavern with the soil nail support with formation step cavern on the relationship of the transient strain and the TNT quantity. It contrasts them on the relationship of the transient strain and the loading time, too. It indicates the important factors of influencing the transient strain. They are the TNT quantity, the loading time and the supporting parameter. The soil nail support with formation step cavern has the best ability of dying down the strain and bearing the deformation. It integrates the two circles of the TNT quantity and the loading time, and put forwards the new concept—the value of colligation of repeated strains under no use for reference.

Key words: soil nail support; cavern; explosion load; the value of colligation of repeated strains