

# 玉环干江栈头公路隧道的爆破开挖技术

李丽邦

(丽水市丽通工程监理有限公司,浙江 丽水 310005)

**摘要:**根据栈头公路隧道的工程特点及隧道施工的复杂性,阐述了隧道开挖的减振爆破控制技术和隧道开挖的方法,以及施工量测和振速监测技术在隧道开挖过程中的应用。

**关键词:**隧道;控制爆破;施工量测;振动控制

**中图分类号:**U455.4 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2011)02-0067-04

**Construction of Zhantou Road Tunnel with Blasting and Excavation/Li Li-bang** (Litong Engineering Supervision Co., Ltd., Lishui Zhejiang 310005, China)

**Abstract:** Description is made of the vibration reduction blasting technique and the excavation method, as well as the use of construction measurement and vibration velocity monitoring in tunnel excavation in respect of the engineering characteristics and excavation difficulty of the Zhantuo road tunnel.

**Key words:** tunnel; controlled blasting; construction measurement; vibration control

## 1 工程概况

栈头公路隧道及接线道路工程是浙江省玉环县重点工程,是为解决隔海相望的鸡山岛乡进入大陆,改善鸡山乡交通条件而新建的一条交通线路。它由东、西接线和隧道组成,全长2.5 km。其中东、西接线长700 m,隧道长1800 m。

### 1.1 环境复杂

(1)隧道顶部及洞口周围为干江镇生活居民区,人口众多,房屋密布,最小距离2 m,最大距离30 m。

(2)隧道拱顶距干江镇中心大道仅为7 m。

(3)在K0+802位置有一人防洞室与隧道交叉,距隧道拱顶仅有1.8 m。

### 1.2 施工规模大

隧道为双向四车道,净宽13 m+2×1.1 m,其中行车道净宽13 m,隧道两侧各设1.1 m的检修道。隧道设计断面形式为三心拱,最大开挖断面为183 m<sup>2</sup>,最大断面开挖高度为12.6 m,宽度为17.2 m。最小开挖断面为132 m<sup>2</sup>,最小断面的开挖高度为9.9 m,宽度为16.6 m。

### 1.3 工程地质

隧道两接线及隧道为低山丘陵区地貌,隧道东接线由低山丘陵区地貌过渡到冲积平原地貌。山上植被发育,隧道沿线基岩零星出露,溶蚀漏斗、溶蚀裂隙较为发育。隧道所在区域工程地质上部为土

层,下部为基岩。基岩由上泥盆系砂岩,泥岩和中石炭系、下二叠系灰岩,炭质页岩等组成,前者主要分布于隧道东部,后者主要分布于隧道西部。

## 2 施工难点与要求

隧道所处的地理环境复杂,使爆破开挖的难度成倍增加,其主要表现如下。

(1)隧道开挖爆破时产生的爆破地震效应将使紧邻的房屋产生有害的地震现象,影响房屋承力结构的安全。因此,爆破施工必须采用光面爆破,严格控制爆破,爆破震动速度应控制在1.5 cm/s以内,以满足房屋的抗震要求。

(2)隧道开挖前,因人防洞室开挖和房屋基坑开挖时,围岩应力重分布早已形成了二次平衡,隧道开挖后将进行第三次围岩应力重分布,形成新的平衡。为了控制隧道开挖后,围岩应力重新调整的过程中,围岩产生较大的沉降和坍塌,影响中心大道的正常通车运行,影响房屋基础和防止隧道与人防洞室交叉产生应力集中的现象,隧道采用超前小导洞分阶段开挖(见图1),初期支护必须紧跟开挖面及时封闭围岩以提高围岩自稳能力。

(3)为了验证和检查隧道设计的合理性和隧道区域减震控制爆破开挖方案的安全性,指导隧道施工,必须进行施工监测。

收稿日期:2010-08-18

作者简介:李丽邦(1968-),男(汉族),浙江丽水人,丽水市丽通工程监理有限公司,土木工程专业,从事公路工程监理工作,浙江省丽水市庆元县黄田镇中心学校, www.hdnjys@163.com。

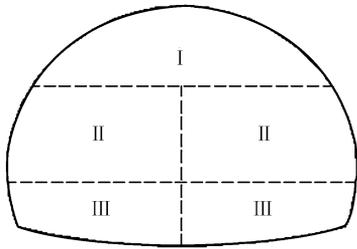


图1 隧道开挖步骤图

### 3 爆破设计

为了保护周围建筑物及人防洞室的安全,必须有效地控制爆破应力波产生作用范围和破坏特征,降低爆破振动。隧道开挖施工的3个部分中,I部和II部开挖爆破最为关键。

#### 3.1 减振控制的方法

##### 3.1.1 采用微差起爆技术

微差爆破是以毫秒级的时间间隔分次起爆,降低各起爆段地震波的干扰和叠加来实现减轻振动,减轻爆破时对建筑物、地下人防洞室稳定性的影响。

##### 3.1.2 限制一次起爆的最大药量

根据萨道夫斯基公式:

$$V = K(\sqrt[3]{Q/R})^\alpha$$

式中:V——振动速度,cm/s,取1.5 cm/s;Q——一次起爆的最大药量,kg;R——爆源中心至计算点的距离,m;K、α——与爆破场地地质、地形条件有关的系数和衰减系数,参考类似工程经验,K取50~200,岩土松软时取大值200,α暂定1.9。

由被保护对象的不同距离反算确定爆破最大单响药量。

##### 3.1.3 选择合理的循环进尺

循环进尺大,单孔药量多,地震效应也较强烈,选择合理的循环进尺,既要保证一次起爆药量不超过允许最大单响药量,又要考虑支护工作的安排,使整个作业能协调进行。

##### 3.1.4 运用减振孔技术

应力波在界面处的垂直入射和霍普金逊效应表明:爆破应力波在传播过程中遇到自由面时将全部或部分反射回来,将不产生或产生很小的透射波。通过近距建筑物影响段的减振方法是采用打减振孔,以切断爆破产生的地震波,降低振动速度。

### 3.2 炮孔布置及爆破参数

#### 3.2.1 炮孔布置

炮孔按其所在的部位和作用的不同,主要分掏槽眼、辅助眼、周边眼。掏槽眼尽量布置在靠核心一侧的底板,以增大爆破点到被保护建筑物间的距离,

因为炸药爆炸时产生的应力波在介质内自爆源向四周迅速传播,随着距离的增大不断衰减。掏槽眼采用双层复式楔形掏槽,从有关隧道爆破开挖质点振动速度的观测中可知,一般情况下,掏槽爆破的地震动强度比其它部位炮眼爆破时的地震动强度都要大,而所有的掏槽形式中楔形掏槽的地震动强度最小;掏槽眼要求抛掷,辅助眼是扩大和延伸掏槽范围,在掏槽部位侧部要求松动,上部要求弱松动,下部要求强松动,周边眼要求光面爆破,形成完整的轮廓;底板眼要求用抛掷药量。

#### 3.2.2 爆破参数

周边眼的装药量按光面爆破设计,其他炮眼的装药量在不超过单段最大装药量的前提下,采用以下公式计算:

$$q = kawL\lambda$$

式中:q——单眼装药量,kg;K——炸药单耗,kg/m<sup>3</sup>;a——炮眼间距,m;w——炮眼爆破方向的抵抗线,m;L——炮眼深度,m;λ——炮眼系数(参考表1选取)。

表1 炮眼部位系数

炮眼部位	掏槽眼	扩槽眼	掘进眼(槽下)	掘进眼(槽侧)	掘进眼(槽上)	内圈眼	二台眼	底板眼
λ值	2~3	1.5~2	1~1.2	1	0.8~1	0.5~0.8	1~1.5	1.5~2

为了控制振速,爆碎岩石,提高工程进度,充分利用非电毫秒管的段位,让单段最大装药量合理分配到不同部位的炮孔中去,工部爆破划分为3个区域。其爆破分区见图2、图3,爆破参数见表1、表2、表3、表4。

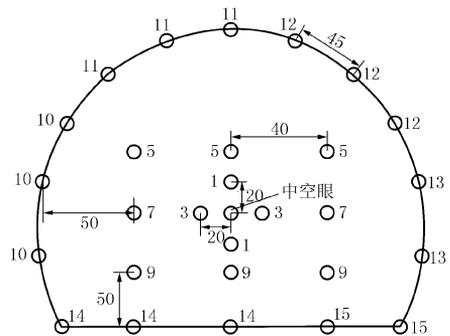


图2 超前小导洞开挖爆破设计图

其施工步骤为:首先按设计开挖周边钻Ø42 mm,深1.5 m的密集孔,然后靠上台阶中心下部打2.5×2的小导洞,1.5 m深,最后再将小导洞扩挖。

### 4 隧道开挖

为了减少或截断应力波和地震波的作用范围,

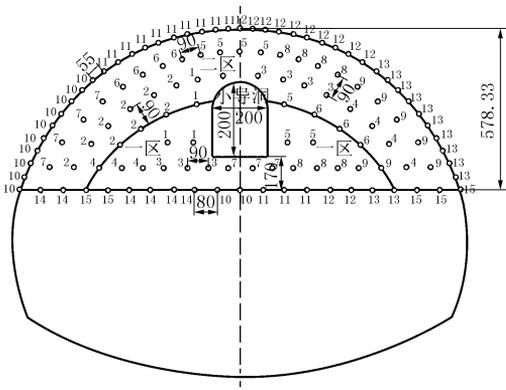


图3 上半断面开挖爆破设计 (单位:cm)

表2 超前小导洞爆破参数

炮眼名称	炮眼个数	雷管段数	雷管数	孔深/m	孔距/cm	药量/kg
掏槽眼	2	1	2	1.7	20	2.6
掏槽眼	2	3	2	1.7	20	2.6
扩槽眼	3	5	3	1.5	40	3.0
扩槽眼	2	7	2	1.5	40	2.0
扩槽眼	3	9	3	1.5	40	3.0
辅助眼	3	10	3	1.5	45	0.9
辅助眼	3	11	3	1.5	45	0.9
辅助眼	3	12	3	1.5	45	0.9
辅助眼	2	13	2	1.5	45	0.6
辅助眼	3	14	3	1.5	50	0.9
辅助眼	2	15	2	1.5	50	0.6
合计						17.9

表3 爆破参数(一区)

炮眼名称	炮眼个数	雷管段数	雷管数	孔深/m	孔距/cm	药量/kg
辅助眼	3	1	3	1.5	100	3
辅助眼	3	2	3	1.5	100	3
辅助眼	3	3	3	1.5	90	3
辅助眼	3	4	3	1.5	90	3
辅助眼	3	5	3	1.5	100	3
辅助眼	3	6	3	1.5	100	3
辅助眼	3	7	3	1.5	90	3
辅助眼	3	8	3	1.5	90	3
辅助眼	2	9	2	1.5	90	2
底板眼	2	10	2	1.5	80	2.2
底板眼	3	11	3	1.5	80	3.3
底板眼	2	12	2	1.5	80	2.2
底板眼	2	13	2	1.5	80	2.2
底板眼	2	14	2	1.5	80	2.2
底板眼	2	15	2	1.5	80	2.2
合计						40.3

增加临空面,减少炸药消耗量,控制爆破振动速度,减少对围岩的扰动,减少振动影响。隧道开挖分5个工作面(见图4),按同方向的两个工作面错距15~20 m进行开挖施工,其开挖爆破步序分述如下。

(1) I部开挖:爆破设计时,将I部开挖划分为3个区域3次单段装药爆破,实际施工时,在保证单

表4 爆破参数(二区)

炮眼名称	炮眼个数	雷管段数	雷管数	孔深/m	孔距/cm	药量/kg
辅助眼	4	1	4	1.5	90	2.8
辅助眼	4	2	4	1.5	90	2.8
辅助眼	4	3	4	1.5	90	2.8
辅助眼	4	4	4	1.5	90	2.8
辅助眼	4	5	4	1.5	100	2.8
辅助眼	4	6	4	1.5	100	2.8
辅助眼	4	7	4	1.5	90	2.8
辅助眼	4	8	4	1.5	90	2.8
辅助眼	5	9	5	1.5	90	3.5
周边眼	10	10	10	1.5	55	3.0
周边眼	10	11	10	1.5	55	3.0
周边眼	10	12	10	1.5	55	3.0
周边眼	11	13	11	1.5	55	3.3
底板眼	2	14	2	1.5	80	2.2
底板眼	3	15	3	1.5	80	3.3
合计						43.7

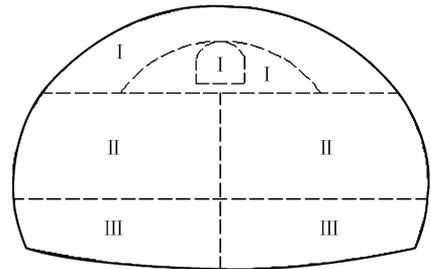


图4 开挖工作面

段装药量不超过设计一次起爆最大装药量的前提下,提高开挖进度。将15段非电毫秒管串联小段非电毫秒管进行了孔外延时,增加了非电毫秒管的总段位,提高了装药爆破的总炮眼数,从而将I部变为3次单独爆破。

(2) II部开挖:利用I部开挖形成的临空面,采用松动控制爆破,从上至下进行层层剥离。

(3) III部开挖:利用II部开挖形成的临空面,采用松动控制爆破,从上至下进行层层剥离。

(4) 初期支护:为了保证已开挖隧道的稳定,达到抗沉防坍的目的,隧道开挖后,按设计及时初期支护,初期支护紧跟开挖面。

## 5 隧道开挖监测

### 5.1 爆破振动速度监测

为了动态掌握爆破产生的地震效应及人防洞室造成的振动影响,保证其安全,隧道开挖爆破期间,对每次爆破的振动速度进行了监测,以检查设计减振控制爆破的安全性,及时调整爆破参数。

### 5.2 变形量测

为了及时掌握围岩和支护结构的受力变形特点,获取必要的施工反馈信息,必须建立安全管理基准,及时修正支护参数和施工方法,为决策和管理提供依据,在开挖过程中进行了洞内水平收敛量测和拱顶下沉量测。典型断面测点变形曲线如图5所示。

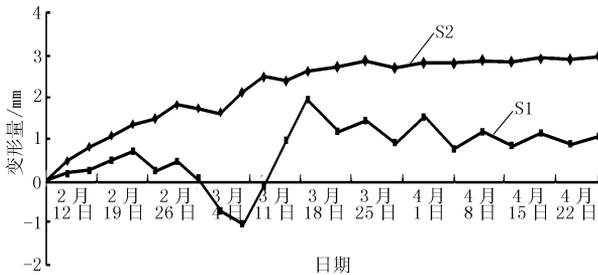


图5 K0+722断面测点变形曲线图

图4中S1为洞内水平收敛累计变形 $\mu$ 随时间 $t$ 的变化,S2为拱顶下沉累计变形量 $\mu$ 随时间 $t$ 的变化。从2条曲线看,累计变形量较小,变形平稳,说明隧道采用的减振控制爆破技术开挖后,对围岩的扰动较小,从曲线上日变形量看,前期变形较为活跃,后期很快稳定,符合隧道开挖的时间及空间效应,说明支护设计和开挖方法是得当的。

## 6 施工体会

通过栈头公路隧道减振控制爆破开挖的实际应用,体会如下:

(1)在Ⅲ-V类围岩中建设城市浅埋大跨度公路隧道,必须选择良好的减振控制爆破开挖方法;

(2)城市公路隧道的施工爆破应进行施工量测和振速监测,指导后续施工;

(3)隧道开挖采用减振控制爆破技术,对围岩的扰动较小;

(4)控制单段最大装药量和一次起爆装药量,控制振速保护建筑物是可行的。

## 参考文献:

- [1] 张建国. 实用爆破技术[J]. 北京:冶金工业出版社, 1997.
- [2] 刘殿中. 工程爆破实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社, 1999.
- [3] 石崇,毕卫国. 爆破地震破坏判据的探讨[J]. 岩土力学, 2004, 25(S1):115-118.
- [4] 陈士海. 爆破地震作用下结构震动响应研究现状与发展[J]. 爆破, 2003, 20(4):100.
- [5] 阳生泉,廖先葵,刘宝琛. 爆破地震安全判据的缺陷与改进[J]. 爆炸与冲击, 2001, (3):223-228.

## 河南水文二队发挥专业优势积极开展抗旱找水工作

**本刊讯** 2010年10月以来,河南省由于降水持续偏少,连续近4个月无有效降水,全省已有2089万亩冬小麦受旱,其中重旱214万亩,山丘区还有13万人因旱出现饮水困难。

2011年1月22日,温家宝总理在鹤壁浚县新水峪村视察时指出,做好当前抗旱保丰收工作,事关人民群众基本生活和经济社会发展大局。一定要从全局高度认识抗旱保丰收工作的重要性,牢固树立抗大旱、抗长旱、抗连旱的思想,周密制定抗旱工作方案,尽快行动起来,坚决打好这场抗旱保丰收的硬仗。

根据温总理关于抗旱保收的重要指示精神和国土资源部要求,河南省地矿局水文二队在省局布署下,充分发挥专业技术优势,积极行动起来,迅速召集该队钻探和水文地质等相关技术骨干,专门成立了抗旱找水打井指挥部,把温总理视察的旱情较为严重的新水峪村作为该队服务的重点,并在短短3天时间内就编制出河南省应急抗旱水文地质图。此时正值春节放假时间,河南水文二队领导和项目

部人员放弃与家人团聚的机会,发挥快速行动、快速突破的优良传统,在现场进行了水文地质测绘和物探电法找水定井定位,有关人员进行了施工前的人员召集,钻机、钻具等人、材、物各项准备工作,并于2月6日正式开钻。

新水峪村是一个1500人的移民新村,耕地1350亩。目前全村浅井全部报废,现有160~180m水泥管水井5口,由于常年未进行维护,水量不足且多数井出砂,生活饮水实行每2天定时供水2h,灌溉水井缺少38口。

为了从根本上解决水量小、水质差和使用寿命短等问题,该井设计深度200m,全部采用钢管和新型梯形丝过滤管成井。目前该井已成功出水,可提供日出水量1200m<sup>3</sup>,解决24000人安全饮水和1000多亩的土地灌溉难题。

(严珊珊、陈莹 供稿)

## “大洋一号”船在南大西洋中脊取得多金属硫化物样品

**国家海洋局网站消息** 2011年2月4日23时,正在南大西洋作业区执行中国大洋第22航次科考任务的“大洋一号”船传来好消息:科考队员在南大西洋中脊成功抓取了多金属硫化物样品。经初步分析,该样品含有自然铜,这是人类在南大西洋中脊最南端取得的多金属硫化物样品。

在当晚的考察中,科考人员从水下摄像拖体发现了热液活动异常区,并有多金属硫化物。科考队首席当即决定使用电视抓斗进行作业。尽管天色已晚,给作业带来诸多不便,但科考队员齐心协力,

在驾驶人员精心配合下,终于成功获取到多金属硫化物,这是我国在南大西洋中脊最南端首次取得的多金属硫化物样品,在国际上具开创意义。

2月6日中午12时26分,科考人员再次成功利用电视抓斗获取到多金属硫化物样品。这两次重大收获让“大洋一号”船的全体科考队员迎来了兔年的开门红,也成为“大洋一号”船第22航次科考任务的又一项丰硕成果。