

文章编号:1004—5716(2004)07—0097—03

中图分类号:U455.4 文献标识码:B

## 隧道工程

# 小净距隧道施工工艺

齐春峰

(中铁十五局,河南 洛阳 471000)

**摘 要:**针对福建三明—福州高速公路的工程地质,介绍了小净距隧道的施工细则。

**关键词:**小净距隧道;施工方法;工序

### 1 概述

小净距隧道是指并行公路隧道间夹岩石厚度较小,一般 $<1.5$ 倍隧道开挖断面宽度的一种特殊隧道结构型式。为给小净距隧道施工提供技术指导和行为要求,特制订本细则。细则适用于隧道开挖断面 $<13\text{m}$ 的并行双洞隧道。

本细则针对福建三明—福州高速公路的工程地质、水文地质和相关围岩情况拟定,只适用于该路段的小净距隧道施工。本细则重点围绕小净距隧道施工中的施工方法及工序、关键工艺施工、监控量测技术要求等编写,未涉及的各种施工技术要求,严格按《公路隧道施工技术规范》(042-94)执行。根据设计文件及本细则的要求,施工时应编制施工组织设计,并对各工序的滞后时间、空间间距、炮眼深度、装药量等提出严格要求,经监理审查同意后方可实施。

本细则建议的施工方法及工序、关键工艺、量测要求等,应当根据施工过程中所得到的现场量测资料及时进行修改和调整,以确保工程安全、经济、合理。

本细则为“中铁十五局京福高速公路福建段小净距隧道施工关键技术研究”课题的阶段成果,目前为试行阶段。在执行过程中应当根据施工现场地质情况、施工情况、量测数据及计算分析结果等及时加以补充、修改和完善。

### 2 施工方法和工序

为确保开挖过程中围岩的稳定性,减少因隧道间距小引起的围岩变形、爆破震动等不利因素的影响,满足小净距隧道中夹岩特有的加固要求,特对小净距隧道不同围岩类别段的施工工艺作如下要求:

#### 2.1 类围岩段

根据隧道围岩变形特点,在正常情况下,推荐在Ⅰ、Ⅱ类采用正向单侧壁导坑的开挖方法。施工工序以左洞先开挖制定,当右洞先开挖时,则将左、右洞施作顺序对调即可(见图1)。

##### 2.1.1 左洞按下列开挖顺序施工

(1)上台阶1超前支护;(2)上台阶1开挖;(3)上台阶1初期支护(含侧壁临时支护);(4)中夹岩上部水平贯通锚杆施工;(5)下台阶1超前支护;(6)下台阶1开挖;(7)下台阶1初期支护(含侧壁临时支护及仰拱初期支护);(8)中夹岩下部水平贯通锚杆施工;(9)上台阶2超前支护(含侧壁临时支护);(10)上台阶2开挖;(11)上台阶2初期支护;(12)下台阶2超前支护;(13)下台阶

2开挖;(14)下台阶2初期支护(含侧壁临时支护及仰拱初期支护);(15)拆除侧壁临时支护;(16)仰拱回填砼施工;(17)防水层及拱墙二次衬砌施工。

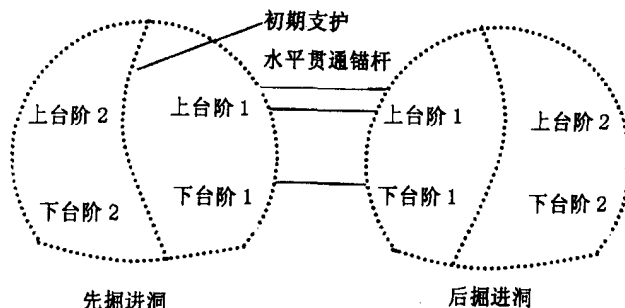


图1 类围岩开挖顺序

##### 2.1.2 右洞施工工序

右洞施工工序同左洞,但水平贯通锚杆施工应为水平贯通锚杆连接施工。

##### 2.1.3 工序安排注意事项

(1)右洞(后掘进洞)上台阶1的开挖一般应落后于左洞下台阶1(先掘进洞)5~10m。当左洞(先掘进洞)出现围岩稳定性较差、监控量测数据收敛性不好的情况时右洞上台阶1宜滞后于左洞下台阶2进行。同理,此时右洞上台阶2宜滞后于左洞二次衬砌完成后进行。

(2)侧壁临时支护拆除应在下台阶2完成20~30m后,二次衬砌开始前进行,临时支撑拆除后,仰拱回填和拱墙二次衬砌应尽早施作。

(3)左洞二次衬砌与左洞下台阶2开挖面的合理距离应根据左洞下台阶2开挖放炮震动情况作具体确定,暂定为20~30m。

(4)右洞二次衬砌与右洞下台阶2开挖面的合理距离应考虑放炮冲击和震动对衬砌的影响,暂定为20~30m。

(5)在台阶施工拉开合理距离情况下,各台阶施工均可平行进行。

(6)施工中必须严格配合爆破震动测试和围岩变形测试等科研工作。

(7) 中夹岩超前支护的打设角度可根据现场围岩状况和设计目的在 $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 之间进行调整。

(8) 在Ⅰ类围岩掌子面稳定性较好、施工单位机具和施工能力许可的条件下,单侧壁导坑的上台阶1、下台阶1(上台阶2、下台阶2)可合为一步进行开挖。

(9) 如果掌子面稳定性差,单侧壁导坑分为两个台阶不能确保掌子面稳定,则可根据现场地质条件,将单侧壁的开挖、支护分为三或四个台阶进行。

#### 2.1.4 说明

在Ⅰ、Ⅱ类围岩的地质条件下,采用本开挖布序进行开挖施工,基于以下几个方面的原因:

(1) 风化的坡、残积土在地下水不丰富的情况下,一般稳定性较好,但在有地下水的条件下,稳定性会比较差。因此,采取单侧壁导坑的开挖布序方式可防止出现围岩变形过大而失稳的情况发生。

(2) 便于及早封闭仰拱,有利于围岩稳定。

(3) 中间岩处拱脚至拱腰变形量最大,刚性的侧壁临时支护对减少此范围处变形有较大的作用。

(4) 由于围岩类别较低,一般多采用人工或机械开挖,爆破震动相对较小。

(5) 正向单侧壁导坑的开挖方法有利于对中间夹岩进行支护,在全断面未开挖的情况下,及早取得中间岩开挖后的变形量测试结果,可为全断面开挖后存在的风险提供超前预报和超前处理时间。

#### 2.1.5 特殊情况的处理

在特殊情况下,因地质条件、施工进度、工序转移等多种因素综合影响,在Ⅰ、Ⅱ类围岩条件下可能采用反向单侧壁导坑的开挖法(其施工工序详见下述Ⅲ类围岩反向单侧壁导坑法),但在施工中必须严格注意以下问题:

(1) 应严格控制上台阶2及下台阶2每循环的开挖进尺。

(2) 在初期支护完成后水平贯通锚杆必须及时施作。

(3) 监控量测数据必须及时采集和反馈,出现不稳定现象必须及时处理。

### 2.2 Ⅲ类围岩段

推荐采用反向单侧壁导坑的开挖方法,施工工序按左洞先开挖制定,若右洞先开挖,则左、右洞施作顺序对调。

#### 2.2.1 左洞按下列顺序施工:

- (1) 上台阶1超前支护;
- (2) 上台阶1开挖;
- (3) 上台阶1初期支护(含侧壁临时支护);
- (4) 下台阶1超前支护;
- (5) 下台阶1开挖;
- (6) 下台阶1初期支护(含侧壁临时支护及仰拱初期支护);
- (7) 上台阶2超前支护;
- (8) 上台阶2开挖;
- (9) 上台阶2初期支护(含侧壁临时支护);
- (10) 中夹岩上部水平贯通锚杆施工;
- (11) 下台阶2超前支护;
- (12) 下台阶2开挖;

(13) 下台阶2初期支护(含侧壁临时支护及仰拱初期支护);

(14) 中夹岩下部水平贯通锚杆施工;

(15) 防水层及二次衬砌施工。

#### 2.2.2 右洞施工工序

右洞施工工序同左洞,但水平贯通锚杆施工应为水平贯通锚杆连接施工。

#### 2.2.3 工序安排注意事项

(1) 左洞(右洞)上台阶1与下台阶1掌子面的间距一般为 $3\sim 5\text{m}$ ,下台阶1与上台阶2掌子面间距一般为 $5\sim 10\text{m}$ 。

(2) 在围岩状况较好且施工条件许可时,可将上台阶2与下台阶2同时开挖。

(3) 由于侧壁临时支护仅为喷锚支护,因此,临时支护在上台阶2与下台阶2开挖时被拆除。

(4) 为确保在爆破震动影响下的安全,二衬与两洞爆破掌子面的安全距离必须通过震动测试结果确定。从施工工序角度考虑,左洞(先掘进洞)二衬与右洞(后掘进洞)下台阶2掌子面的距离应 $10\sim 15\text{m}$ ;右洞二衬与右洞台阶2掌子面的距离应 $15\sim 20\text{m}$ 。

(5) 当隧道掘进由Ⅰ、Ⅱ类开始,然后围岩向Ⅲ类过渡的情况下,由于Ⅰ、Ⅱ类围岩与Ⅲ类围岩开挖分步相反,施工单位应根据前方Ⅲ类围岩长度、施工进度要求、施工经验等因素,综合选取以下工序作为过渡方案:

在Ⅲ类围岩条件下采用正向单侧壁导坑的开挖方法,但必须采取严格的措施控制后行洞靠中夹岩侧的爆破施工。

待Ⅲ类围岩全部开挖完成后,再对Ⅲ类围岩采取反向单侧壁导坑的开挖方法。

从隧道Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类围岩交界处由正向单侧壁导坑上台阶1、下台阶1向反向单侧壁导坑上台阶1、下台阶1斜向掘进的方法,完成Ⅰ、Ⅱ类围岩向Ⅲ类围岩的过渡。

当隧道因进入断层破碎带或其他原因由Ⅲ类围岩进入Ⅰ、Ⅱ类围岩段,由于开挖工序为反向单侧壁导坑,因此,施工单位应根据前方Ⅰ、Ⅱ类围岩长度、施工进度要求、施工经验等因素,综合选取以下工序作为过渡方案:

a、待Ⅲ类围岩全部开挖完成,做采用正向单侧壁导坑的开挖方法。

b、在Ⅰ、Ⅱ类围岩中采用反向单侧壁导坑的开挖方法。

#### 2.2.4 说明

在Ⅲ类围岩地质条件下,采用反向单侧壁导坑的开挖施工方法,主要基于以下原因:

(1) Ⅲ类围岩多采用钻爆法开挖,为减少爆破震动对相邻隧道的影响,应将震动最大的爆破远离中夹岩进行。

(2) 于上台阶1、下台阶1已开挖,靠中夹岩的上台阶2、下台阶2的开挖将有较好的临空面,可在较小药量、较小爆破震动的基础上取得良好的爆破效果,同时也确保了中夹岩的稳定。

### 2.3 Ⅳ、Ⅴ类围岩段

采用超前导坑预留光爆层的开挖方法,按左洞先开挖制定,若右洞先开挖,则左、右洞施作顺序对调(见图2)。

#### 2.3.1 左洞施工顺序

- (1) 开挖超前导坑 1;
- (2) 开挖预留光爆层 2;

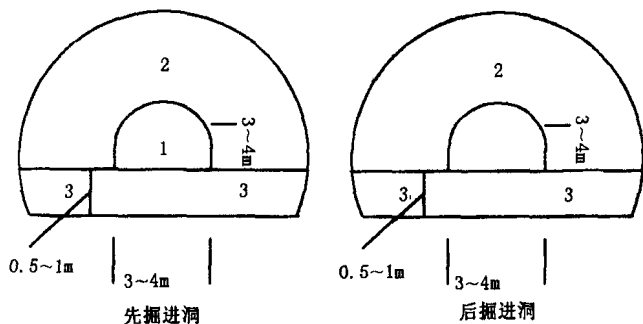


图2 、 、 类围岩超前导坑开挖工序横断面图

- (3) 初期支护;
- (4) 隧道减底及水沟开挖;
- (5) 防水层及二次衬砌施工。

#### 2.3.2 右洞施工顺序同左洞

#### 2.3.3 工序安排注意事项

- (1) 超前导坑超前长度应根据施工能力确定,一般为 5~10m;

(2) 右洞预留光爆层的开挖应在左洞初期支护完成并达到一定强度后进行,因此一般应滞后左洞预留光爆层开挖 5~10m;

(3) 右洞各段爆破药量应严格按震动测试结果控制;

(4) 左洞二次衬砌距右洞预留光爆层的距离应根据震动测试结果具体确定,暂定为 25m;

(5) 右洞距右洞预留光爆层的距离应考虑爆破震动与冲击的影响,暂定为 40m;

(6) 由于隧底开挖工作的精度直接影响隧道底部平整回填工作量,本细则建议超前导洞一般高于隧底设计标高 0.5~1m,将隧道减底工作留至精确抄平后与开挖同时进行;

(7) 考虑到减底及水沟开挖若滞后二次扩挖面太远不利于各工序的平行作业,此工序与二次扩挖掌子面的距离应 15m。

#### 2.3.4 说明

在 、 、 类围岩段地质条件下,采用超前导坑预留光爆层的开挖施工方法,主要基于以下原因:

(1) 、 、 类围岩自稳性较好,可采取全断面的开挖方式。

(2) 隧道普遍长度不大,一般采用人工打眼放炮能满足施工进度要求。

(3) 由于有超前导坑临空面的存在,二次扩挖(预留光爆层)的爆破方式可由全断面一次爆破的抛掷式爆破改变为崩解式爆破,装药量可大大减少,同时爆破震动也可大大减小。

(上接第 96 页)

铁质结核,该结核多数以石英砂为核心经铁质胶结而成,有的实心,有的空心,有的还见有同心圆状构造,土质较均匀。

带:为杂色,主要由红、黄、褐、白等颜色相间组成。该层的化学成分变化明显: $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  明显积累, $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  大量淋失, $\text{SiO}_2$  也有一定的溶蚀。土中残留有原裂隙痕迹,原裂隙为白色粘土或黑色粉粒状(铁锰质)充填物,土质不均。

带:浅灰白色,浅黄褐色,该层向基岩逐渐过渡,由于水化作用,岩石的矿物、化学成分发生变化,黑云母及其他暗色矿物褪色,光泽变暗,弹性丧失,逐步变成暗褐色纤维状粘土矿物。本身裂隙增多,其化学成分与基岩的化学成分相比较, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{TiO}_2$  变化甚微, $\text{Fe}_2\text{O}_3$  略有积累, $\text{CaO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$ 、 $\text{Na}_2\text{O}$  明显淋失,黑云母已风化为铁锈色细片状,部分长石未完全风化,石英碎裂为砂。

上述主要是按风化土的成分进行划分,与现行规范分层的对应关系是:带的上部相当于花岗岩风化残积土层;带的底部及带的顶部为全风化带;带的中下部为全风化带与强风化带的过渡带。依据风化土的成因成分进行分带,显然能更本质地描述花岗岩风化土的分层规律。

根据花岗岩风化土的颜色、矿物组成进行“成因”分带,将更有利于掌握花岗岩风化土的分层特征,无疑为该土层的工程力学性质评价提供有力指导。由于组成岩石矿物成分的差异,在不同风化作用下各种矿物风化程度的异同,在钻探过程中经常发现风化土存在软硬相间、风化残留碎石夹层等,通过“成因”分带可以更加合理的反映土层的性质,能给设计和施工提供更合理、

更准确的基础资料,同时给钻探过程发现的“异常”情况提供合理的解释。通过“成因”分带还可以对“孤石”的判断提供依据。根据大量资料表明,“孤石”常见于带,当钻探过程中发现岩面起伏过大,应该考虑是否存在“孤石”,除了对周围的区域地质、地形地貌应该进行综合分析外,更重要的是对相邻的钻孔资料进行分析、根据分化土的颜色及颗粒组成进行分带以判断孤石存在的可能性。

#### 4 原位测试方法的局限性

在勘察过程中,由于标准贯入试验操作简单,在水上钻探中运用非常普及,一般的水运工程项目在选择基础持力层,特别是在确定砂层及硬土层的承载力方面,经常把标准贯入试验作为唯一的原位测试手段。但是由于标准贯入试验的局限性和水上作业条件的差异性,导致贯入试验实测的数据很难准确地反映土层的真实强度,只能参考已有积累的经验对土层进行评价。为了确保水运工程勘察质量,合理配置资源,本人认为对工程建设场地进行综合勘察、引进其他有效的勘察方法和推广多种原位测试手段势在必行。

#### 5 结论

广东的花岗岩风化土分布很广,正确地认识其物理力学性质尤为重要。但由于花岗岩风化土母岩的结构特征及其风化环境的差异,风化土的产状、颗粒组成变化很大,土层的物理力学性质变化缺乏规律性,所以进行花岗岩风化土勘察应该结合勘察区区域地质及地形地貌资料,根据现场风化土的颜色、颗粒组成等特征进行“成因”分带,同时,水运工程勘察应推广多种原位测试手段,以保证更准确地描述土层的物理力学性质。