

# 连拱隧道中导洞开挖的超前地质预报意义

姚振凯<sup>1</sup>, 黄运平<sup>1</sup>, 杨敦才<sup>2</sup>, 梁明生<sup>2</sup>

(1. 武汉俊博市政建设工程公司 武汉市 430101; 2. 中水五局 成都市 610066)

**摘要:** 连拱隧道中导洞开挖, 一般只理解为为浇注中墙钢筋混凝土提供必要空间, 对其核实隧道设计施工图中的地质资料, 指导正洞施工具有重要的超前地质预报意义重视不足。本文以J潭一号隧道和M山隧道两个实例进行论述。

**关键词:** 连拱隧道; 中导洞开挖; 地质超前预报

## 1 中导洞开挖的任务和超前地质预报意义

近5年来我国连拱隧道建设迅速发展, 现已建和在建的连拱隧道数量达400余座, 其中三车道连拱隧道30余座, 成为世界上连拱隧道最多和发展速度最快的国家。但迄今为止, 对连拱隧道中导洞开挖的任务和超前地质预报的意义尚未见专文论述。笔者实践认为, 中导洞开挖的任务主要是: 第一, 为中墙施工提供必要空间; 第二, 核实施工图设计中的地质资料, 提出隧道正洞施工的实施方案; 第三, 为正洞施工进行超前地质预报。

多年来, 在连拱隧道施工中, 由于施工、监理和业主单位缺乏专业地质人员, 对中导洞开挖的任务, 一般只注重为浇注钢筋混凝土中墙提供必要空间。很少注意核实和补充隧道施工图设计中的工程地质和水文地质资料, 更少有根据新的地质资料提出新的隧道施工方案, 甚至没有发挥中导洞开挖对正洞施工的超前地质预报作用。

中导洞施工前的工程地质勘察报告, 因种种原因和揭露工程数量所限, 对隧区地质构造及工程地质特征难以详细了解。尤其在隧道地质构造和水文地质条件复杂, 岩性多变或强烈风化的Ⅳ、Ⅴ级软弱围岩下, 隧道施工人员更应重视中导洞开挖后对施工图设计资料的核实及发挥其超前地质预报的作用。因此, 在中导洞开挖过程中, 应及时对中导洞的工程地质和水文地质特征进行详细观察和编录, 并在工程地质勘察报告的基础上, 最终核实和修正工程地质勘察报告内容, 提供设计部门在修编设计时

参考, 并指导连拱隧道正洞的施工。

中导洞开挖前, 往往先进行洞口边仰坡开挖。因此, 边仰坡地质调查, 尤其是仰坡地质调查也是中导洞地质调查内容的一部分。洞口仰坡地质调查, 属于隧道横断面性质, 具有一定的先导作用, 可大致了解或推测隧道的地质特征。

中导洞开挖和完成具体的地质调查后, 具有下列超前地质预报意义。

(1) 通过隧区地质构造形态的详查, 提出正洞施工中的注意事项。如查明背斜或向斜构造形态、规模、产状, 断层构造性质, 以及它们的延伸等特征, 指出这些构造在正洞可能出现的里程位置, 及其对开挖和初期支护的影响等, 提出超前地质预报。

(2) 详细查明隧区水文地质特征, 提出正洞防排水的超前地质预报。如围岩和褶皱、断裂构造的透水性能, 测定地下水流速、流量及其物理和化学性质, 提前做好隧道防排水的有关设施准备, 做好隧道水灾的应急预案。

(3) 判定隧道围岩级别, 测定围岩有关的物理力学参数, 根据围岩级别分布情况, 提出隧道从进出口相向开挖对接的安全里程位置。根据中导洞围岩级别的垂向变化, 提出仰拱施工方案的建议。

(4) 在综合地质调查成果基础上, 对可能采用的多种施工方案进行比选, 最终提出优化的工艺方案, 确保隧道施工安全和工程质量。

(5) 从中导洞地质剖面图, 并参阅区域地质资料, 看出隧区的地壳演化史, 了解隧区地壳陆海变

迁,为旅游区景点进行科普宣传提供趣味史话。

## 2 J潭一号隧道超前地质预报实例

J潭一号隧道位于J潭水库西侧约百米,是一座二车道的高速公路连拱隧道。隧道长221 m,轴线方位近南北向,洞身横穿东西向山体。隧道围岩为下寒武统牛角河群的变质砂岩、粉砂岩和炭质板岩,及第四系残积和坡积层的含碎石亚粘土,后者出露于隧道进口地段。

隧区地壳经历了强烈的早古生代加里东期地槽造山运动,和在中新生代迭加的剧烈断块构造活化作用,使隧区地壳多次抬升,褶皱和断块构造发育,地形反差强烈,岩体剧烈风化,形成隧区的剥蚀—侵蚀低山丘陵地貌。进出口两端地形陡峭,进口自然坡度为 $50^\circ$ ,出口达 $60^\circ$ 。

在中导洞开挖前,先对进出口边仰坡进行刷坡。由于隧道进口分布着第四纪残积、坡积的含碎石亚粘土,岩性松散,稳定性差,故选择从隧道出口开挖中导洞。通过中导洞开挖施工,取得了新的重要地质资料,及时做出超前地质预报,为顺利进行正洞施工起了举足轻重的作用。具体内容分述如下。

### (1) 洞口坡刷坡时查明隧道构造形态。

隧道出口刷坡调查后,获知隧道出口为复式倾伏背斜构造,穹部正位于中导洞拱部偏东侧,在正洞位置的背斜两翼岩层小褶皱挠曲发育。左右正洞的岩层倾向相反,左洞岩层产状总体为 $25^\circ \angle 23^\circ$ ,右洞岩层产状 $325^\circ \angle 50^\circ$ ,中导洞拱部岩层产状为 $10^\circ \angle 40^\circ$ 。从而看出隧区为一不对称的向北东向倾伏的复式背斜构造,其轴线与隧道轴线的夹角为 $25^\circ$ 。这就预示中导洞和正洞开挖时,有可能出现滑顶或冒顶的超前地质预报。

### (2) 核实和修正施工图设计的地质资料。

由于工程地质勘察阶段只用5个钻孔,共198.30 m的钻探工程量,对此地质构造复杂和植被覆盖厚,岩层露头少的地区,要详细查明隧区地质构造显然是不可能的。可是在工程地质勘察报告和施工图设计的隧道地质纵断面中,看到有3条断层构造带和5个钻孔全部穿越隧道底部25 m深,只用5根箭头向上的垂线,在一侧标明孔号,另侧标明里程,却未标明钻孔深度,也未标钻孔孔位标高。由此可以看出,这种图件是不规范,甚至是不合格的,从而降低了隧道地质纵断面图的可信程度。于是施工单位根据地质勘察报告中的5个钻孔柱状图资料,

编绘隧道地质纵断面图。发现只有进口段的2个钻孔穿越了隧道底部5 m,并标明进口段45 m为Ⅵ级围岩,另15 m为Ⅴ级围岩是符合实际情况的。其余3个钻孔均未到达隧道洞顶,尚差2~12 m不等,导致隧道另外的161 m实际上是在没有可靠地质资料的情况下,定出Ⅳ级围岩105 m,Ⅴ级围岩56 m。

通过中导洞开挖和地质编录,新查明有一条长达105 m的纵向挤压断裂构造破碎带,5条横向断裂构造带。地层产状零乱,岩性破碎,拱顶围岩剧烈风化。致使全隧道Ⅵ级围岩长达162 m,占73.3%,Ⅴ级围岩仅59 m,占26.7%,无Ⅳ级、Ⅲ级围岩分布,形成以软质岩为主的隧道围岩。据此,预报正洞开挖易引起拱顶掉块,甚至坍塌,并依照断裂产状延伸,预报正洞开挖可能出现断裂构造的里程位置,要求提前做好预防坍塌的预报。

### (3) 详细查明隧区水文地质特征,指导防排水施工。

隧区的水文地质较简单,地下水位均在基岩强风化带以下,地下水类型为风化基岩裂隙水和断裂构造水,水位和水量受季节性降水和水库的水位影响较大。三条横向断裂构造带有明显渗漏水现象,在大雨过后地下水量急剧增加,提出在含水断层构造带处开挖时注意安全,预防突发性涌水灾害,并在二次衬砌时加密横向透水软管的间距,加强防排水措施的超前地质预报。

(4) 测定有关围岩的物理力学参数,发现软弱围岩提前加固。

在中导洞进口段见10 m余长呈黑泥状产出的强风化炭质板岩,及20 m余长以碎石状产出的变质砂岩断层破碎带。经现场测定前者的承载力为20~84 kPa,后者承载力为100~200 kPa,同勘察报告中的数值相差甚远,于是提出在此里程段加强超前支护及中墙基底换填和加固的设计变更申请,并预报沿产状延伸到左右洞里程位置时,应采取加强超前支护和加固地基及防止地基沉陷的预报。

### (5) 根据隧道围岩实际级别,选定初期支护参数。

当中导洞揭露出百余米的纵向挤压断裂破碎带后,将原勘察报告把此里程段定为Ⅳ级围岩,申请变更为Ⅵ级围岩,相应需要变更此里程段的初期支护参数。另外,在中导洞发现围岩垂直风化分带现象,拱部为强风化岩带,而基底变成弱风化或微风化岩带。于是预报重点加强拱部超前支护和加密拱部径向锚杆初期支护,适当减少侧墙锚杆数量,不宜等间距地平均布设锚杆的预报。

(6) 提出从进出口相向开挖对接的安全里程位置。

根据围岩条件和施工组织情况,提出在围岩稳定性较好的里程进行相向开挖对接。在快到对接里程时,提前通知一方停止开挖,由另一方单向开挖,确保对接时拱顶的安全,预防对接时的开挖进尺过大引起拱顶下沉或坍塌事故的预报。

(7) 选定隧道最佳施工方案。

原地质勘察报告及施工图设计,都提出用“三导洞”先墙后拱工艺方案施工。中导洞开挖后,获知隧道基底围岩,除进口洞口段 30 m 基底需要换填和加固外,其余均为岩质坚硬的弱风化或微风化岩石,建议采用中导洞—核心土工艺,取代“三导洞”先墙后拱的工艺方案,并获得业主和设计部门的认可,从而缩短了工期,降低了工程造价,获得明显的经济效益。

### 3 M 山隧道超前地质预报实例

M 山隧道是一座三车道城市公路连拱隧道。隧

道长 385 m, 轴线近南北向, 方位  $12^\circ$ , 穿越东西向延伸的山体。隧道穿越的山体海拔高度为 80 m, 隧洞最大埋深约 44.0 m, 属典型浅埋连拱隧道。隧道围岩为早古生代地台阶段形成的中志留世汶头期深灰色页岩、泥质粉砂岩及其互层和晚古生代晚泥盆世五通期紫红色石英砂岩及其与灰白色薄层页岩、泥质粉砂岩互层。在中新生代隧区地壳经受构造活化作用, 区域地层掀斜抬升, 形成剥蚀低山区地貌单元, 隧道进出口为垅岗剥蚀残丘。此外, 山体南麓是楚隐贤钟子期坟墓所在地, 距隧道相距仅 100 m, 有“高山流水遇知音, 空竹文琴传钟伯”有名诗句流传, 为旅游人员参观欣赏的景点。

隧道工程地质勘察报告和施工图设计的地质纵断面中, 都标明隧区内有一背斜和一向斜构造, 指出泥盆系与志留系之间为地层不整合接触, 接触带附近岩性破碎严重, 破碎带产状为  $37^\circ \angle 40^\circ$ , 见图 1 所示。通过中导洞开挖和地质编录, 在工程地质勘察报告基础上, 获得一些新认识, 为正洞施工起了一定的超前地质预报作用。具体内容分述如下。

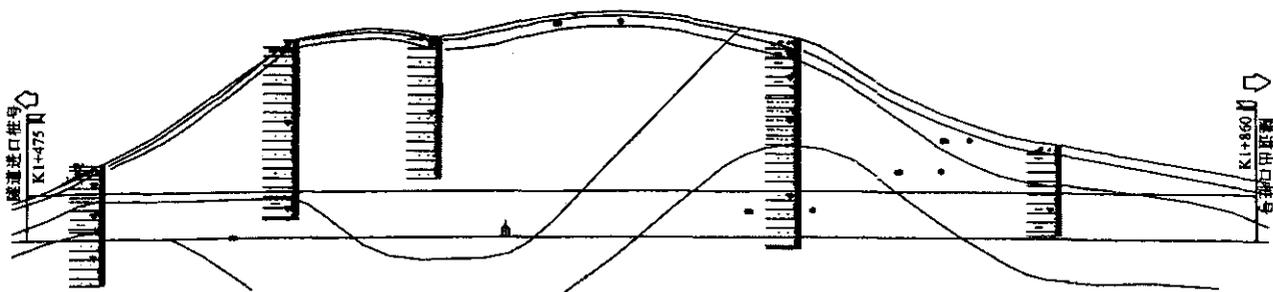


图 1 M 山隧道施工图设计的地质纵断面

(1) 预防左洞出口开挖塌方的预报。

在隧道出口仰坡刷坡时, 因地质人员未及时到位, 中导洞出口进洞开挖时产生两次塌方, 只好改用大管棚超前支护后才安全进洞。地质人员到位后, 在出口仰坡新发现两条断层构造带, 其中  $F_1$  号断层紧靠中导洞西侧分布, 断层产状  $91^\circ \angle 76^\circ$ , 断层破碎岩带宽 2~3 m, 是中导洞从出口进洞开挖时产生塌方的原因所在, 提出中墙地基围岩需要换填加固的设计变更申请。  $F_2$  号断层在左洞分布, 断层产状  $275^\circ \angle 45^\circ$ , 断层破碎岩带宽 1~3 m, 见图 2 所示。两条断层夹持区的岩性破碎, 地下水渗流至仰坡表面, 尤其是在大雨过后, 渗漏水急剧加大, 甚至出现涌水现象。于是提出左洞出口段加强超前支护、初期支护和防排水等措施, 预防开挖时洞顶塌方的预报。

(2) 对古风化壳不必按断层破碎带对待的预报。

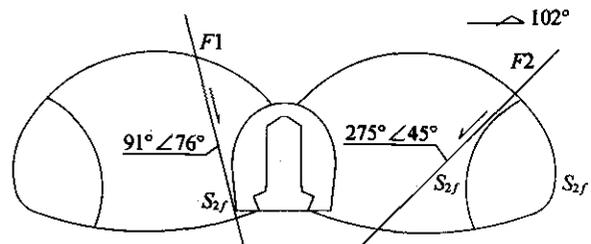
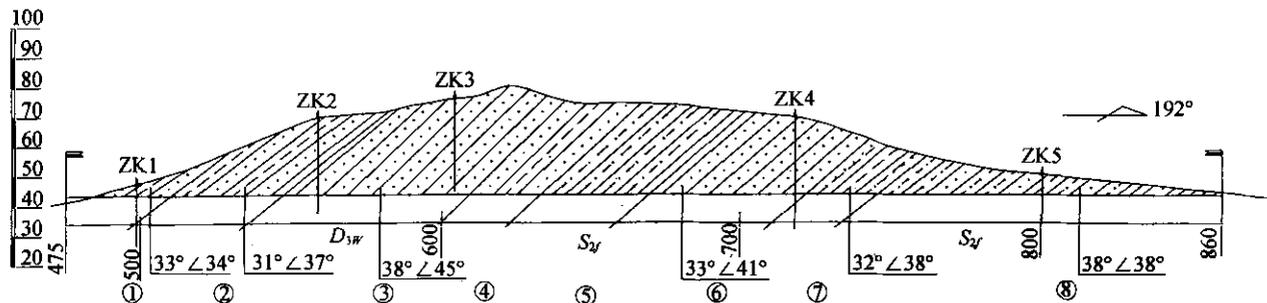


图 2 M 山隧道出口仰坡地质剖面略图

根据志留纪和泥盆纪岩层产状相近, 总体岩层倾向为  $15^\circ \sim 40^\circ$ , 倾角  $25^\circ \sim 45^\circ$ , 两者之间为平行不整合, 不整合面产状为  $37^\circ \angle 40^\circ$ 。未发现明显的断层接触或角度不整合, 也未见有地下水明显增加的现象。只见志留系汶头组顶部岩层由深灰色变成浅黄色, 并有较多褐铁矿充填岩层空洞, 岩层无明显破碎, 更未见构造角砾岩, 这就表明为古风化壳所在,

见图 3 所示。原地质勘察剖面图标明的断层构造接触,是在没有工程揭露条件下根据物探资料推测的,经中导洞施工验证不存在此断层构造带,主要是褐

铁矿染引发物探异常。对此,只需适当加强超前支护即可,不必按断层破碎带对待的预报。



$D_{3w}$ —上泥盆统五通组;1—紫红色、浅灰色薄层石英砂岩与灰白色页岩互层;2—紫红色、浅灰色中厚层石英砂岩和块状石英岩状砂岩夹薄层灰白色页岩;3—紫红色、浅灰色厚层石英砂岩和块状石英岩状砂岩夹薄层灰白色页岩;4—灰绿色中厚层页岩,底部含紫红色石英砂岩团砾,及紫红色薄层石英砂岩夹薄层赤铁矿层; $S_{2f}$ —中志留统汶头组;5—黄灰色中厚层粉砂质页岩,褐铁矿充填洞穴,为古风化壳层;6—深灰色厚层粉砂质页岩;7—深灰色薄层页岩;8—灰色粉砂质页岩夹细砂岩或紫红色泥质粉砂岩。

图 3 M 山隧道中导洞地质纵断面

(3)不存在褶皱构造不会产生开挖滑顶的预报。

根据中导洞的地质编录,岩层产状总体北东倾,未发现岩层倾向相反的现象,也未见不同时代地层重复出现,表明隧区不存在向斜和背斜构造。原地质勘察地质剖面,只是根据数量不多的钻孔岩芯进行岩性层位连接,得出的向斜和背斜构造有不确切之处。因此,预报正洞开挖时不会出现因褶皱构造产生的冒顶、滑顶现象。

(4)对新发现软弱围岩段加强支护和二次衬砌的预报。

从中导洞地质编录,获知在K1+725~+750 里程段围岩为薄层页岩,层面裂隙发育,岩性强烈风化且松软,达不到施工设计图中定为Ⅳ级围岩的标准。因此,提出该里程段围岩级别变更为Ⅴ级的建议,并加强初期支护和二次衬砌的预报。

(5)提出用中导洞—核心土工艺施工建议。

根据中导洞拱顶围岩强烈风化破碎,基底变为弱风化或微风化围岩的垂直风化分带,见图 4 所示,提出三车道连拱隧道用中导洞—核心土工艺施工,代替施工图设计中“三导洞”先墙后拱方案。经过左右洞的成功探索,缩短了工期,降低了工程造价,也为三车道连拱隧道在软弱围岩条件下,采用中导洞—核心土工艺施工取得了经验,获得明显的经济效益。

(6)为旅游区景点科普宣传提供趣味史话。

从中导洞地质剖面,有中志留世汶头期中厚层深灰色粉砂质页岩、中厚层和薄层深灰色页岩及其

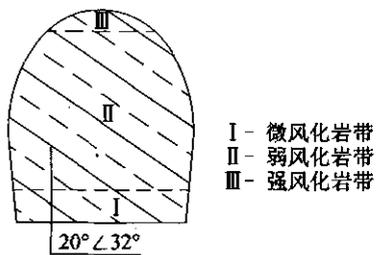


图 4 中导洞 K1+735 里程围岩垂直风化分带

互层产出,说明距今 4 亿 2 千万年前,本区是滨海和浅海交替温暖气候的古地台环境。此后,全区缓慢抬升,成为江南古陆,并开始受到风化剥蚀,有汶头期岩层顶部发育着区域性褐铁矿化的古风化壳为证。直至 3 亿 6 千万年前的晚泥盆世五通期形成的紫红色、黄白色石英砂岩和泥质粉砂岩及其白色、浅灰色薄层页岩夹层,紫红色砂岩内局部有小型交错层理,说明当时本区曾处于陆表浅海和陆湖的热带气候为主的古地理和古气候环境。至 2 亿年前的中生代,区域地壳产生活化构造运动,使岩层产生掀斜作用,古地台解体,形成现今的某山单斜构造和地貌,并一直延至今日。这些为该隧道和楚隐贤钟子期坟墓连成旅游景点,对进行科普宣传提供了趣味史话。

参考文献:

[1] 姚振凯,黄运平,彭立敏.公路连拱隧道工程技术[M].北京:人民交通出版社,2006.  
[2] JTG D70—2004,公路隧道设计规范[S].