

文章编号:1006—2106(2002)04—0071—08

圆梁山隧道进口端平导 PDK354+255~+275 溶洞段施工技术

张民庆^{*} 韩占波 孙国庆

(中铁隧道集团公司 科研所, 洛阳 471009)

提 要: 圆梁山隧道是渝怀线上的最长隧道, 该隧道穿越高压富水区, 施工难度极大, 被誉为“国内隧道设计、施工禁区工程”。本文系统地介绍了该隧道 PDK354+255~+275 溶洞段的地质超前预测预报、超前注浆加固及支护、注浆效果的检查评定及施工过程, 为今后类似工程的设计、施工提供借鉴依据。

关键词: 隧道洞口; 溶洞; 平导; 预测预报; 注浆加固; 效果评定

中图分类号: U453 **文献标识码:** A

1 工程概述

圆梁山隧道是渝怀线上最长的隧道, 隧道全长 11 068 m。隧道地处渝、鄂、黔三省市毗连地区, 为川东褶皱山地与鄂西山地、贵州高原的接触带, 属中、低山地形。主要发育毛坝向斜、桐麻岭背斜及伴生断裂、向斜区内发育较多横张断裂。地貌形态明显受构造和岩性控制, 具带状展布特征, 以褶皱构造为骨架, 形成北北东向山脉和纵向河谷相间。隧道穿越乌江水系与沅江水系的分水岭——武陵山脉。地形条件十分困难, 地

质条件异常复杂, 该隧道施工难度极大, 被称为“国内隧道设计、施工禁区”。该工程主要工程地质问题有: 岩溶涌(突)水、高水压、高应力及煤层瓦斯, 其中岩溶、高压富水地质是最为关键的问题。

圆梁山隧道通过地层岩性主要为灰岩、灰岩加煤系地层、泥岩、粉沙岩、泥灰岩、白云岩。隧道穿越区域主要为毛坝向斜、桐麻岭背斜及伴生断裂。如图 1 所示, 毛坝向斜走向为东西向, 西翼高、东翼低, 呈长舟形, 为一封闭的可溶的不透水的盆状构造, 毛坝向斜段隧道埋深 780 m。

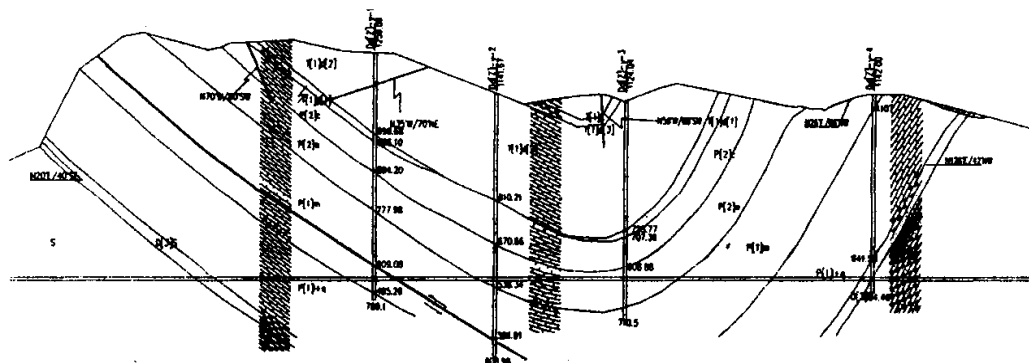


图 1 毛坝向斜段工程地质图

2 溶洞段地质预测预报

为保证圆梁山隧道的安全正常顺利施工,有效地采取针对性措施,确定并选择有效的注浆施工方案,在圆梁山隧道施工中采取四种地质超前预测预报手段,即超前探水孔钻探、红外线超前地质预测预报、TSP超前地质预测预报和地质素描综合判断。

2.1 探测过程

超前探水孔钻探是预报地层的最有效方法。如图2所示,平导超前探水孔在平导开挖面布设。根据机械配置特点,超前探水孔共布设4个,其中2个位于上部拱腰处,另2个位于边墙部位。超前探水孔采用MKD-5S地质钻机施钻,钻孔直径 $\phi 90$ mm,探水段长30 m,终孔位于隧道开挖轮廓线外1.5 m。

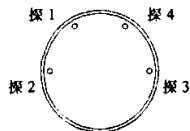


图2 平导超前探水孔设计图

2002年1月31日在PDK354+244.5~+274.5段施作超前地质探孔前掌子面拱顶偏左侧有一竖向张裂隙,自拱部开始向下延伸30~50 cm长,宽度2~4 cm,裂隙处流量为 $10 \text{ m}^3/\text{h}$,掌子面其余部位均无水,岩性为灰岩。

2002年2月1日0:10开始进行探水孔施工。在探水孔施作过程中,首先探1、探2分别钻至6 cm、7.5 m时开始出水,但水量不大,同时可以看到拱顶左侧裂隙涌水点处涌水量明显减少,这说明探1、探2和拱顶左侧涌水点明显存在着水利联系。在继续钻孔过程中,探3钻至15 m时钻入出现涌水、涌泥,开始时表现为混浊水,含有部分角砾石,然后继续钻进时,顺钻杆周壁流出塑状粘泥,钻进速度极快,此现象持续10 min之后,又表现为涌水(混浊状)现象。钻至27 m时,进入岩层。在探3出现涌水、涌泥后不久,探4钻至12 m左右,也表现为涌水、涌泥现象,至接近终孔30.2 m时,地层变为岩层。探2钻进过程中未表现出涌水、涌泥现象,岩体破碎。探1最后结束,钻至18 m时钻进速度较快,也表现出涌水、涌泥现象,该孔和探4连通性极强。钻孔过程中测试掌子面探测里程段内探测孔总涌水量为 $35 \text{ m}^3/\text{h}$ 左右。钻探结束后,各孔涌水量依次为探1、探2基本无水,探3涌水量为 $15 \text{ m}^3/\text{h}$,探4涌水量为 $20 \text{ m}^3/\text{h}$,探3、探4涌水量约占钻孔孔径位的

$1/3 \sim 1/2$,且随时间的变化而波动(脉冲状态),这是溶洞内地下水压所致,涌水表现压力较小。

由探水孔施作过程所表现的情况来看,平导由PDK354+261.5里程位置开始发育一贯通性强,宽约12 m~15 m的大型溶洞,内含大量淤泥、砾石,富水,该溶洞构造通过四个超前探水孔涌水量累计为 $35 \text{ m}^3/\text{h}$,水头压力可能受淤泥阻挡未完全表现。为进一步确定溶洞状况,到2002年2月3日平导开挖施工至PDK354+255.8时停止开挖,随之进行第二次超前探测工作。此时掌子面为泥岩,岩石破碎,夹部分灰岩,有3层各30~40 cm宽的夹泥层。左下角有一小溶洞暴露,填充粘土。

第二次超前探测自2002年2月3日11:10开始。为探测溶洞大小,探3外插角 14° ,探4上仰 7° 。探3钻至1.5 m时,钻进容易,为淤泥质粘土,钻至13.2 m时钻进速度开始变慢,为岩层,钻孔过程中孔内基本无流水,钻至16 m时仍表现为岩层,停止钻探。探4钻至5.5 m时开始进入淤泥质粘土,钻至19 m时钻进速度开始变慢,进入岩层,探4涌水量约 $10 \text{ m}^3/\text{h}$ 。探1钻至7.2 m时,钻入淤泥质粘土,钻至10 m左右进入岩层。

2.2 溶洞区工程地质状况

(1)结合已开挖的地质状况和红外线超前探水预测预报、TSP超前地质预测预报,经综合分析可得出:圆梁山隧道进口端平导里程为PDK354+255~+275地段范围内发育一贯通性强、近东西向,宽约12 m~15 m的大型溶洞,内含大量淤泥、砾石,富水。地层岩性为泥岩和灰岩的接触带,岩体破碎、裂隙发育、自稳能力较差。根据地层岩性判断,该段地层可能处于吴家

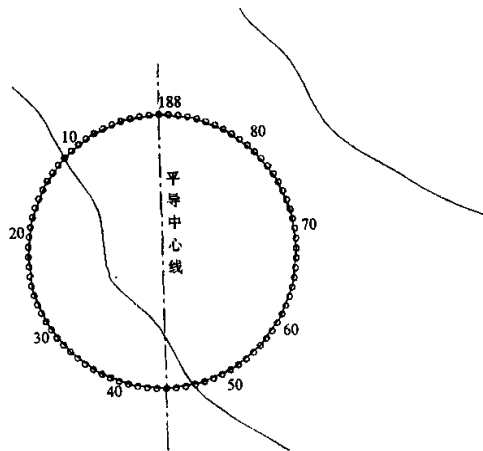


图3 溶洞横面分布图

坪组地层向长兴组地层过渡的地段。该溶洞在平导横断面及平面的分布如图3、4所示。

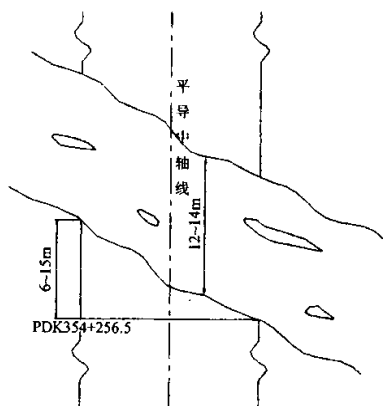


图4 溶洞平面分布图

(2)在溶洞探测及施工过程中,发生了涌水涌砂现象,对涌出物进行成份含量及筛分试验,以确定地质状况。

①2002年2月23日20:30对突泥进行取样分析,突出的粘泥,粘度较高,其成份除含有少量的粉砂和炭质泥岩碎块外基本均为粘土。

②2002年3月4日在工作面进行取样,经分析,前期涌出物为粉细砂,含有少量砾石。

③2002年3月5日在工作面对后期涌出物取样并进行筛分试验,由试验数据绘制涌出物成份比例图,如图5所示。绘制涌出物筛分曲线如图6所示。

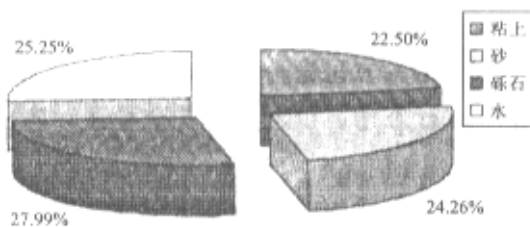


图5 涌出物成份比例图

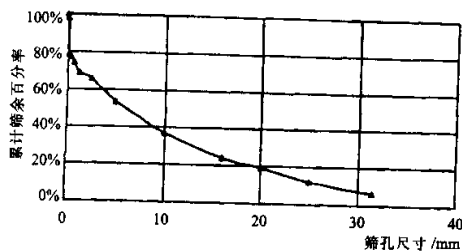


图6 涌出物筛分曲线

由图5、图6来看:后期涌出物中粘土、砂、砾石、水比例基本相同,涌出物累计筛余百分率曲线基本呈直线分布,可见原地层填充物在未受到压力水冲出前,其级配相当合理,呈较致密结构。

2.3 溶洞区水文地质状况

(1)由探水孔的涌水冲出物来看,在整个观测过程中,涌水基本为混浊水,不含或含有少量胶泥和角砾石。在10 m的开挖施工期间,测试出各探水孔涌水量如图7所示。

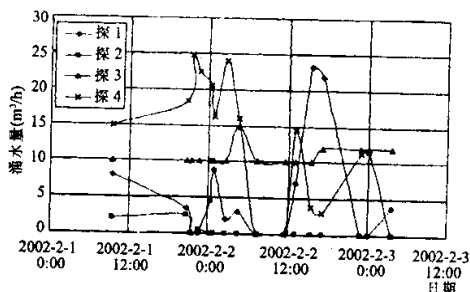


图7 探水孔涌水量分布曲线

由各探水孔涌水量变化曲线来看,探1、探3、探4各探水孔水量呈无规律交替变化,探2基本保持无水,各探水孔最大涌水量为25 m³/h,但总涌水量基本保持不变,约35 m³/h,可见掌子面前方存在的水源头不至一个,且为动水压。

(2)测试溶洞段涌水量,绘制涌水量变化曲线如图8所示。由涌水量变化曲线,结合掌子面涌泥、涌水状况表述如下。

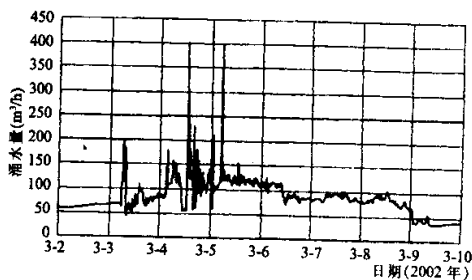


图8 涌水量变化曲线图

①2002年3月3日1:50在进行超前全断面注浆施工时,由掌子面左侧拱腰和右侧拱顶位置出现了涌水、喷泥现象,该现象持续5 min后,涌水、喷泥现象消失,此时涌水量为90 m³/h;

②在继续进行注浆施工时,于2002年3月3日3:50和2002年3月3日6:40也相继发生了涌水、喷泥现象,持续时间均为5 min左右,涌水量达120

m^3/h , $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

③ 2002年3月3日6:40至2002年3月4日12:30期间,相继发生了涌水和涌泥现象,其涌水量均小于 $200 \text{ m}^3/\text{h}$ 。

④ 在2002年3月4日12:30和2002年3月5日5:00,又发生了两次特大涌水和涌泥现象,受测试条件所限,测出当时涌水量 $> 400 \text{ m}^3/\text{h}$ (折合为 $> 10\,000 \text{ m}^3/\text{d}$)。

⑤ 自2002年3月5日5:00以后,涌水量基本稳定,未再发生大规模的涌水和涌泥现象。

(3) 在注浆施工过程中表露,溶洞的上、下部和围岩交界部位均有压力水存在。

3 超前注浆加固及支护

3.1 方案确立

在探测到溶洞存在后,经过业主、设计、监理、施工各方讨论分析,认为针对该大型溶洞,宜按“超前长管棚支护、小导管注浆加强”方案进行施作,以达到“安全稳妥,防止突泥”的目的。

2002年2月4日~2002年2月14日进行了大管棚钻孔及注浆施工。经采用大管棚施工、注浆充填加固后,2002年2月18日开始试探性开挖,每循环进尺 0.5 m 。当开挖到 $\text{PDK}354+255.8$ 时,掌子面岩性为吴家坪组页岩,棕褐色,泥钙质胶结,块状构造,中~强风化,风化面呈铁锈色;节理裂隙发育,部分裂隙充填软塑状粘土,宽度介于 $5\sim 20 \text{ cm}$,岩体破碎。掌子面右下角已揭露出软塑状的泥,面积约 0.5 m^2 ,推测进入溶洞体。中午11:00左右,在掌子面出碴将尽时,发现掌子面两榀拱架拱脚发生位移约 1 m ,当焊接仰拱时,右侧沿壁开始坍塌,随即拱架开始变形并在拱肩断裂,坍塌体约 5 m^3 。坍塌后可观察到,在右边墙凹陷部有一径向裂缝,宽度约 $5\sim 15 \text{ cm}$,未见充填物,有少量出水,裂隙面风化呈铁锈色,为构造裂隙;掌子面方向发育数条裂隙,最宽约 20 cm ,经探测其长度大于 5 m ,裂隙面新鲜,推测由于开挖岩体产生塑性变形及坍塌引起。产生这样长的宽裂隙,同时也说明前方围岩节理裂隙极为发育,岩体疏松。

根据工程中出现的问题,于是立即进行了掌子面的封闭,并对后方 10 m 范围内已开挖地段进行支护加固。随后在2002年2月23日0:30进行 $\text{PDK}354+255.8$ 仰拱接腿施工时,平导掌子面右下角发生突泥现象。突泥位置在掌子面所堆积的沙袋与右侧边墙的结合部,在涌出十几方稍停,后复涌,同时将插入 5 m 长的锚杆涌出,整个过程约 10 min 左右。涌出物为褐

黄色淤泥质粘土,流塑,有臭味,未见夹碎石,未伴涌水现象,总涌泥量 40 m^3 左右,掌子面出水亦未有变化,水浑浊,仍为 $40\sim 60 \text{ m}^3/\text{h}$ 。经分析,认为是由于溶洞内的水量变化及掌子面出水的水力作用,造成溶洞内充填物流失失稳。该突泥具有一定压力,在平导上部一定范围内都存在此流塑状充填物,且随时有继续突发的可能。

由于涌泥,前方已无法保证安全开挖施工,于2002年2月18日~2002年2月22日由四方进行方案论证,决定采取全断面超前预注浆施工,并扩大注浆加固范围,以达到“固泥堵水、安全施工”目的。

3.2 后部加固

对已开挖的 $\text{PDK}354+240\sim +255$ 段采取型钢+喷射混凝土进行初期支护,对已开挖的 $\text{PDK}354+245\sim +255$ 泥岩段进行小导管径向注浆加固,以达到稳固后方的目的。径向注浆设计如图9所示。

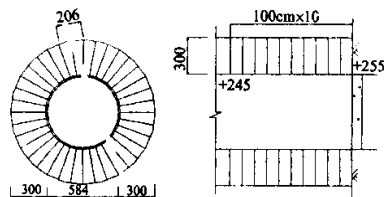


图9 径向注浆设计图

(1) 径向注浆加固范围为开挖轮廓线外 3 m 。

(2) 径向注浆孔梅花型布置,开孔环向间距 1 m ,排距 1 m ,注浆孔原则上垂直于开挖轮廓线布设。

(3) 注浆管布设完毕后,在注浆管周围喷射混凝土封闭,以防止注浆过程中跑浆,保证注浆效果;为保证注浆管的刚度,注浆管可靠近拱架布设,施作完成后,可采取与拱架焊接措施。

(4) 注浆管采用 $\phi 42 \text{ mm}$ 焊接钢管加工制作,注浆管长 3 m ,其中花管长度 2 m ,在花管部分每间隔 20 cm 梅花型布设 $\phi 4\sim \phi 6 \text{ mm}$ 溢浆孔,注浆管前端加工成圆锥状并封死,管尾部分采用两道 $\phi 6 \text{ mm}$ 圆型钢筋焊箍,其中一道用于连接注浆芯管,另一道绕上棉纱后用于止浆。

(5) 注浆孔采用风钻钻孔,成孔直径 $\phi 45 \text{ mm}$,成孔后下入 $\phi 42 \text{ mm}$ 注浆管,采取全孔一次性注浆方式进行注浆。

(6) 注浆材料采用 C-S 双液浆和水泥单液浆,以 C-S 双液浆为主。双液浆配比为 $W:C=(0.8\sim 1):1$, $C:S=1:1$,水玻璃浓度 $35 \text{ Be}'$ 。

(7)采用定压定量相结合标准进行注浆控制,以定压注浆为主,注浆终压为 $2\sim 3\text{ MPa}$;注浆量以单孔注浆量不超过 5 m^3 为原则。

(8)钻孔注浆顺序由 PDK354+245 \rightarrow +255 方向进行,采取间隔跳孔进行,实施挤密型注浆措施。

3.3 大管棚施工

通过管棚进行注浆加固,一则增加管棚支护刚度,二则通过管棚注浆,加固管棚周围淤泥质粘土,形成连续密闭管棚喇叭桶形支护结构,避免或减少施工其间淤泥和岩溶水通过管棚间隙涌入开挖空间形成危害。大管棚安设及注浆施工自2002年2月4日开始,到2002年2月14日结束,历经11天。大管棚安设及注浆施工工艺如下。

(1)采用C20喷射混凝土封闭掌子面,封闭厚度50 cm。

(2)在开挖断面周边施作环向密排管棚(如图10)。管棚采用 $\phi 108, \delta=6\text{ mm}$ 的无缝钢管加工,每节长度3 m,外设 $\phi 5\sim 10$ 溢浆孔。管棚布设间距 $@=20\text{ cm}$,管棚长度根据钻孔状况以钻入硬岩 $2\sim 3\text{ m}$ 为原则。

(3)注浆材料选用水泥-水玻璃双液浆, $W:C=0.8:1\sim 1:1, C:S=1:1$,缓凝剂掺量 $1\sim 3\%$ 。

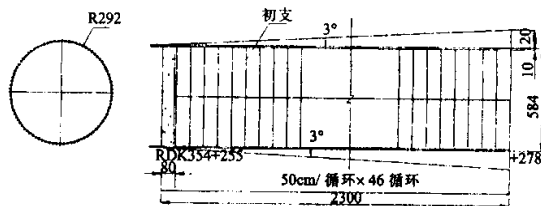


图10 超前大管棚设计图

3.4 全断面超前预注浆

为确保溶洞区的安全施工,进行了全断面超前预注浆,加固范围为开挖面及开挖轮廓线外 $5\sim 8\text{ m}$ 。超前预注浆设计如图11所示。全断面超前预注浆施工自2002年2月28日开始,到2002年3月23日结束,历经24天。全断面超前预注浆施工工艺如下。

(1)止浆墙采用C20模筑混凝土,厚度80 cm,施做止浆墙时,将涌水由孔口管排出,以确保混凝土及注浆施工质量。

(2)注浆孔采用MKD-5S钻机成孔,钻孔后应安设 $\phi 108\text{ mm}$ 孔口管,孔口管长度200 cm;当无法安设孔口管时,采用水囊式止浆塞进行注浆施工。

(3)钻孔深度以达到钻入岩层 $2\sim 3\text{ m}$ 为原则。

(4)根据注浆堵水要求,注浆材料选择采用普通水泥-水玻璃双液浆。水泥-水玻璃双液浆配比为 $W:C=(0.8\sim 1):1, C:S=1:1$,水玻璃浓度为 $35\text{ Be}'$,缓凝剂掺量为 $0\sim 2\%$ 。浆液凝胶时间控制在 $30\text{ s}\sim 3\text{ min}$,凝胶时间可根据现场施工情况进行调整。

(5)注浆施工顺序基本上按以下两个原则进行。

①发散-约束型注浆。即注浆按C圈 \rightarrow A圈 \rightarrow B圈原则进行。首先对C圈、A圈实施发散型注浆,之后对B圈进行约束型注浆,从而达到扩散-挤密的目的。

②充分考虑水源影响因素,按由下到上,由左到右的注浆顺序进地。

(6)注浆工艺采取前进式分段注浆,注浆步距5 m。

(7)注浆结束标准以定压为主,注浆终压为水压 $+2\sim 3\text{ MPa}$,当注浆过程中长时间压力不上升时,应缩短浆液的凝胶时间,并采取间歇注浆措施,同时控制注浆量。

(8)特殊情况处理:

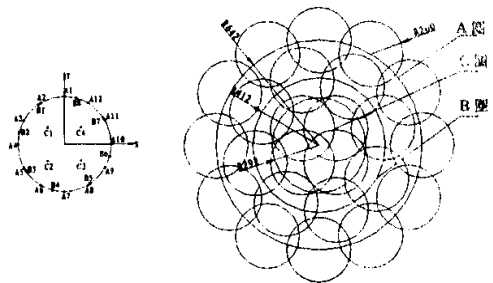


图11 超前预注浆设计图

①在设计中注浆量按 $24\text{ m}^3/\text{段}$ 进行控制。在前期2002年2月28日~2002年3月4日采取了设计的注浆量进行注浆施工。在2002年3月4日注浆施工过程中出现了从左侧拱腰部位和右侧拱顶部位大量涌水、涌泥现象。经分析认为可能是底板注浆施工时将底部较大的过水通道严重堵塞所致。这在随后的A8钻孔注浆施工过程中得到了验证。因而在后期注浆施工中,对底部采用 $12\text{ m}^3/\text{段}$ 的注浆量控制标准,在底部以上部位采取了左侧 $12\text{ m}^3/\text{段}$,右侧 $24\text{ m}^3/\text{段}$ 的注浆量控制原则。

②在钻孔注浆施工中,A1、B7、A12孔出现了钻孔涌水、涌泥现象。采取了科研所专利技术TSS单向袖阀式注浆管进行后退式分段注浆方式进行注浆施工,取得了较好的注浆效果。

3.5 小导管超前支护

超前预注浆完成后,在进行开挖施工前,应对注浆

不足部位或注浆盲区进行小导管补充注浆。

(1) 注浆管长 $L=6$ m, 采用每节长 2 m 的 $\phi 42$ mm 焊接钢管丝扣连接。注浆管前端加工成圆锥状并封死。花管部分长 3 m, 在花管段上间隔 30 cm, 按梅花型布设 $\phi 4\sim 6$ mm 的溢浆孔。管尾部分采用两道 $\phi 6$ mm 的圆型钢筋焊箍, 其中一道用于连接注浆芯管, 另一道绕上棉纱后用于止浆。

(2) 注浆材料采用水泥-水玻璃双液浆, 注浆材料配比为 $W:C=(0.8\sim 1):1$, $C:S=1.1$, 缓凝剂掺量为 $0\sim 2\%$, 凝胶时间为 $30\text{ s}\sim 3\text{ min}$ 。

(3) 注浆结束标准采用定压定量相结合原则, 注浆终压为 $2\sim 3\text{ MPa}$, 单孔注浆量为 $0.2\sim 0.3\text{ m}^3$ 。

4 注浆效果检查评定

注浆效果检查评定是决策开挖施工方案的依据。注浆效果检查评定主要有分析法、钻检查孔法和开挖后取样测试等三种方法。

4.1 分析法

4.1.1 注浆施工 P - Q - t 曲线

在注浆施工过程中, 主要表现出两种 P - Q - t 曲线, 绘制注浆施工过程中的 P - Q - t 曲线, 如图 12 所示。由曲线图可以看出:

I 型曲线主要是内圈 C 和外圈 A 注浆孔注浆时所表现, 特别是底部注浆孔。其注浆压力较小, 一般为 $1.5\sim 2.0\text{ MPa}$, 注浆速度为 $40\sim 50\text{ L/min}$, 随着注浆的进行, 注浆压力稍有升高, 注浆速度略有降低, 但表现不明显, 当达到设计注浆量时, 注浆终压不能达到设计终压值, 而此时注浆速度仍表现为较大。经分析, 认为主要是溶洞区存在一定空隙(洞), 浆液流动的阻力较小。浆液主要表现为填充扩散方式进行加固。

II 型曲线主要是上部注浆孔和 B 圈注浆孔所表现, 这和注浆设计意图所采取的约束型注浆措施一致, 达到了挤压密实的目的。在注浆过程中, 开始时注浆压力为 $2.0\sim 2.5\text{ MPa}$, 注浆速度为 $30\sim 50\text{ L/min}$, 随着注浆的进行, 注浆压力呈曲线上升, 注浆速度亦成曲线明显下降, 当达到设计注浆量时, 注浆终压达到或超过设计终压值, 为 $3.0\sim 4.0\text{ MPa}$, 此时注浆速度降至 $10\sim 15\text{ L/min}$, 可见该类型注浆方式主要表现为挤压-劈裂再挤压。

4.1.2 注浆施工前后涌水量对比分析

注浆前探测过程中涌水量为 $50\sim 70\text{ m}^3/\text{h}$, 在注浆施工过程中也出现了涌水量超过 $10\ 000\text{ m}^3/\text{d}$ 的情况, 经注浆后, 该溶洞段涌水量只有 $5\sim 10\text{ m}^3/\text{h}$, 注浆堵水效果是很明显的, 堵水率是比较高的。

4.2 钻检查孔法

根据注浆状况, 选择注浆范围内可能存在的薄弱环节的注浆部位布设检查孔。检查孔垂直于开挖工作面钻设, 终孔深度稍短于注浆加固段长度。

4.2.1 取芯状况

鉴于受现场取芯条件所限, 检查孔采用 MKD-5S 钻机冲击旋转取芯, 施工中未能取得完整岩芯, 但检查孔的岩芯中有大量浆液的固结体存在, 被冲击成碎块状, 这说明浆液已完全固结, 且有较高的强度。

4.2.2 检查孔状况

检查孔在钻进过程中, 以及结束放置一段时间后, 检查孔内均未出现涌水、涌泥现象, 这表明检查孔部位的淤泥已被完全固结, 达到了固泥堵水目的。

4.2.3 注浆后地层渗透能力

测试注浆结束后地层的单位吸水量 $\omega=3.1\times 10^{-4}\text{ L/min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$ 和渗透系数 $k=4.6\times 10^{-7}\text{ cm/s}$ 。

一般状况下, 当地层注浆后地层的单位吸水量 $\omega\leq 0.01\sim 0.05\text{ L/min}\cdot\text{m}\cdot\text{m}$, $k=10^{-4}\sim 10^{-5}\text{ cm/s}$ 时, 在施工中将不易产生水力渗透性破坏。根据以上试验测试检查结果, 针对溶洞的注浆处理, 已满足了施工要求, 达到了堵水的目的。

4.2.4 检查注浆 P - Q - t 曲线

对检查孔进行注浆试验, 绘制检查孔注浆 P - Q - t 曲线, 如图 13 所示。

由检查孔注浆 P - Q - t 曲线来看, 在注浆施工前期, 注浆初压力为 2 MPa , 此时注浆速度为 15 L/min , 随着注浆施工的进行, 注浆压力和注浆速度基本保持不变, 这主要是起到了补充注浆作用, 并进一步劈裂强化注浆效果, 维持一段时间后, 注浆压力突然上升, 超过设计注浆终压 3 MPa , 同时注浆速度急剧下降, 当注浆压力达到 4 MPa 时, 地层基本注不进浆, 而此时注浆量远小于设计注浆量, 可见检查孔区域已饱和和密实, 达到了注浆设计要求, 满足注浆设计的填充、挤压、劈裂再挤压的堵水固泥目的。

4.3 开挖取样分析评定

4.3.1 加固方式

在开挖过程中, 观察浆液对地层的加固状况, 如图 14 所示。浆液加固溶洞地层, 主要表现为两种方式, 方式一为填充挤压方式, 方式二为剪切劈裂方式。填充挤压方式主要是当粘土孔隙(洞)较大时, 浆液直接填充空隙(洞), 以达到固结目的, 该加固方式主要发生在破碎围岩和粘土的交界面, 以及由于涌泥造成的部分空隙率较大的部位。剪切劈裂方式主要是针对未扰动

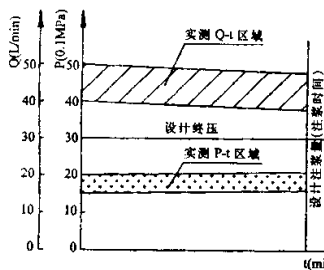


图 12 注浆施工 P-Q-t 曲线图

的粘土地层,浆液在较高压力条件下形成劈裂脉,以脉状扩散方式形成网状加固结构,以达到固泥堵水的目的。

4.3.2 物理力学指标测试

在开挖过程中对固结体现场取样,测试其物理力学指标如表 1 所示。

由测试结果来看:

(1)浆液的强度较高,但由于浆液的固结机理主要表现为挤压填充和剪切劈裂作用,因而浆液加固固结体测试抗压强度时,首先固结体内的粘土体被破坏,而

表 1 物理力学指标对照表

	抗压强度 (MPa)		抗折强度 (MPa)		含水量 (%)	比重	密度 (g/cm ³)	重度 (kN/m ³)	干密度 (g/cm ³)	孔隙率 (%)	饱和度 (%)
	1d	3d	1d	3d							
浆 液	0.5	2.1	0.0	0.5							
原状粘土地层	软塑状不能成型				120.3	4.00	1.52	15.2	0.69	82.8	100
挤压填充体	0.2	0.2			15.7	1.35	1.27	12.7	1.09	18.3	94.42
剪切劈裂体	0.2	0.2			29.1	2.7	1.94	19.4	1.50	44.2	99.18

此时浆液仍表现为固结强度,经多次取样测试,其单轴抗压强度均为 0.2 MPa 左右,这是固结体内压密粘土的抗压强度反映。注浆前地层为软塑状粘土,不能自稳,注浆后地层抗压强度得到了改善,达到了固泥目的。

(2)注浆前地层含水量为 120.3%,地层空隙率为 82.8%,注浆后地层含水量降低到 15.7~29.1%,地层空隙率降低到 18.3~44.2%。注浆后地层的含水量和空隙率均较注浆前有较大幅度降低,这主要是浆液通过填充、挤压、劈裂作用,挤走地层中的一部分游离水份,取而代之,使地层的结构产生了变化,达到了固泥堵水目的。

4.3.3 围岩变形

溶洞区经注浆加固后,在大管棚和超前小导管及浆液固结体的共同作用下,采取了全断面开挖,开挖后

图 13 检查孔注浆 P-Q-t 曲线

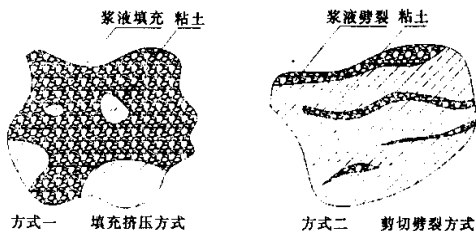


图 14 浆液加固方式图

测试围岩变形情况,围岩极其稳定,其水平收敛和拱顶下沉仅为 3~5 mm,可见注浆效果是很好的,这对安全施工及施工后的工程质量有较好的保证作用。

5 开挖施工

经过注浆施工后,对注浆效果进行了良好地评价,确定进行开挖施工,在试开挖过程中,经开挖取样试验及现场观察注浆效果极佳,因而采用微弱爆破全断面开挖,在开挖过程中围岩稳定。

6 结束语

在业主、设计和监理等各部门的指导下,经过现场科研、设计、施工的密切配合,使该溶洞地段得到了安全顺利的施工,这为保证圆梁山隧道工程质量起到了重要作用,同时为今后类似工程施工积累了丰富的经

验和资料。

CONSTRUCTION TECHNOLOGY OF CAVITY SECTION PDK354+255~+275 IN PARALLEL HEADING AT INTAKE PORTAL OF YUANLIANG MOUNTAIN TUNNEL

ZHANG Min-qing, HAN Zhan-bo, SUN Guo-qing

Science and Technology Research Institute, China Railway Tunnel Engineering Group Co.

Abstract: Yuanliang mountain tunnel is the longest tunnel in Yuhuai railway-line. Passing through high tension and richness water area, the construction of the tunnel is full of difficulties. It is intituled as the "forbidden zone of tunnel design and construction in China". The text introduces the geology advance forecast, advance grouting reinforce and timbering, grouting effect check-up and the construction process in cavity section PDK354+255~+275 of the tunnel. It offers reference for the similar projcets in the future.

Key words: tunnel potral; cavity; parallel heading; forecast; grouting-reinforce; effect check-up

(上接第 81 页)

ELEMENTARY ANALYSIS OF MICRO-CRACKS ON FORMWORKING CONCRETE LINING IN TUNNEL

CAO Xiao-lin

China Railway Third Engineering Bureau Group Co., Ltd

Abstract: By applying the method of mechanics and combined with the construction situation of railway tunnels, the analysis on the loading situation of the structure of the formworked concrete lining in the single track railway tunnel with the surrounding rock of above IV class has been put forward, and the comparisons with the actual situation of cracks on the tunnel lining are put forward also in this paper. The courses of producing micro-cracks on tunnel lining are expounded, and the suggestions to avoid producing cracks are proposed.

Key words: surrounding rock; tunnel lining; crack; load; elastic stress; anchor bolt-spray support

(上接第 70 页)

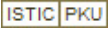
GREAT EMPHASIS ON APPLICATION OF ISOTOPE TECHNIQUE TO STUDY OF TUNNEL GROUNDWATER ENVIRONMENT

LIU Dan

College of Environmental Science and Engineering, Southwest Jiaotong University

Abstract: Based on the data collected and engineering practice, the paper deals with the necessity to carry out environment isotope study in reconnaissance and construction of tunnels. The functions of environmental isotope techniques and the main problems occurred in their applications to tunneling are presented. And it is pointed out emphatically that the great attention should be paid to the application of isotope techniques to study of tunnel groundwater environment in order to improve the level of our tunnel survey.

Key words: tunnel; groundwater environment; isotope technique

作者: [张民庆](#), [韩占波](#), [孙国庆](#)
作者单位: [中铁隧道集团公司, 科研所, 洛阳, 471009](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2002 (4)
被引用次数: 12次

引证文献(12条)

1. [张民庆](#), [张文强](#), [孙国庆](#) [注浆效果检查评定技术与应用实例](#)[期刊论文]-[岩石力学与工程学报](#) 2006 (z2)
2. [李忠](#), [杜明辉](#) [圆梁山隧道突泥事故成因分析及治理措施研究](#)[期刊论文]-[西部探矿工程](#) 2005 (9)
3. [王勐](#), [许兆义](#), [王连俊](#), [白明洲](#) [铁路深埋隧道区岩溶发育特征研究](#)[期刊论文]-[工程地质学报](#) 2004 (3)
4. [梁为民](#), [杨小林](#), [战军](#), [余永强](#) [溶洞对隧道爆破开挖影响的数值模拟研究](#)[期刊论文]-[采矿与安全工程学报](#) 2006 (4)
5. [荆志东](#) [特长隧道地质超前预报方法研究](#)[期刊论文]-[铁道勘察](#) 2005 (3)
6. [王勐](#), [许兆义](#), [白明洲](#), [刘浩杰](#) [圆梁山隧道毛坝向斜段岩溶涌砂来源研究](#)[期刊论文]-[北京交通大学学报](#) 2005 (1)
7. [南琛](#), [张民庆](#) [五爪观隧道暗河段施工技术](#)[期刊论文]-[岩土工程学报](#) 2007 (6)
8. [朱鹏飞](#) [宜万铁路别岩槽隧道岩溶及岩溶水治理技术](#)[期刊论文]-[铁道标准设计](#) 2008 (3)
9. [田四明](#), [张民庆](#), [黄鸿健](#), [殷怀连](#) [齐岳山隧道进口背斜地段岩溶发育特征分析与治理](#)[期刊论文]-[现代隧道技术](#) 2006 (4)
10. [张民庆](#), [殷怀连](#) [宜万铁路别岩槽隧道F3断层突发性涌水治理](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006 (1)
11. [战军](#) [岩溶隧道开挖爆破损伤破坏及数值模拟](#)[学位论文]硕士 2005
12. [陈强](#) [岩溶储气长隧道工程地质系统研究](#)[学位论文]博士 2005

引用本文格式: [张民庆](#), [韩占波](#), [孙国庆](#) [圆梁山隧道进口端平导PDK354+255~+275溶洞段施工技术](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2002 (4)