

文章编号: 0451-0712(2006)05-0207-06

中图分类号: U455.49

文献标识码: B

大风垭口隧道特大土石流及涌水处治

刘仁阳

(中铁五局(集团)第五工程有限公司 昆明市 650118)

摘 要: 大风垭口隧道跨越了哀牢山大断裂带并两次穿越南溪河, 洞内岩性十分复杂, 地下水极为丰富, 施工难度极大。施工过程中, 下行线进口 K255+276~+288 段发生了一次特大涌水和土石流, 致使有长 176 m 的隧道被淹埋, 并在隧道正上方形成一个连通至 180 m 高的巨大陷坑。对此, 专门采用了地震 CT 和高密度电法做了全面的地质调查, 进行了综合治理设计, 并采取两端封堵预注浆固结、环状留核心土 13 步法开挖、先拱后墙法衬砌、8~20 m 径向自进式锚杆与小导管深孔注浆加固及综合防排水等施工技术, 顺利地渡过了涌水、坍方段, 整体施工质量良好。

关键词: 大风垭口隧道; 特大涌水; 土石流; 施工

由于特长公路隧道可以改善线路纵平面线形标准、缩短线路长度、减少深路堑和后期运营成本等, 随着科技和施工水平的不断进步, 修建特长公路隧道将成为今后隧道发展的一个必然趋势。但是, 特长公路隧道投资大、工期长、不可预见因素多、施工难度大, 而且最关键的是隧道通常所处地质条件十分复杂。因此, 在建设过程中如何科学地预防和应对不良地质地段及其灾害就显得尤其重要。我国在建和已建的公路隧道较少出现像大风垭口隧道所遇到的特大土石流、涌水现象, 所以, 总结大风垭口隧道的处理方法有着重要的实际意义。

1 工程概况及水文地质情况

大风垭口特长公路隧道位于国道 213 线昆明~曼谷国际大通道上, 是云南元磨高速公路最关键的工程, 设计总工期为 42 个月。该隧道为上、下行线分离式双洞 4 车道隧道, 上、下行线总长为 6 687 m, 其中上行线长 3 353 m, 下行线长 3 334 m, 最大埋深为 331 m。设计净跨为 10.9 m, 净高 7.2 m, 其中 II 类围岩最大开挖宽度为 14.01 m, 最大开挖高度 12.51 m。

大风垭口隧道位于哀牢山主峰地带, 隧道区域地表海拔在 1 700~2 200 m, 处于地表分水岭山麓地带, 以剥蚀为主, 相对高差约 200~500 m。构造上, 工程区位于青、藏、滇、缅、印尼“歹”字形构造体系的东支, 处于哀牢山断裂带。哀牢山断裂带为一经受了强

烈挤压的深大断裂, 呈线状弯曲, 走向北北西—北西, 断面主要倾向东, 倾角为 $60^{\circ}\sim 70^{\circ}$, 有由碎棱岩、糜棱岩、断层泥、断层角砾组成的破碎带。该断裂仍有后期以张性或张扭性复活的迹象。隧道两次穿越南溪河, 沿线有 3 条常流水沟, 地表及地下水极为丰富, 地表水易成为地下水的补充。

2 特大土石流、涌水情况及原因分析

2.1 基本经过

2003 年 9 月 19 日晚 21:20, 当下行线磨黑端上半断面施工至 K255+274 时, 现场作业人员突然发现 K255+281~+284 段 A 单元右侧已成型的初期支护出现变形, 变形量约有 50 cm, 且 K255+283 拱部右侧出现大量黄色涌水并夹带大量泥砂, 为保证安全, 项目部立即撤出部分施工设备、材料, 并疏散人员至安全地带, 继续观察变形情况。至 20 日上午 8:00 左右, 右侧初期支护仍在变形, 涌水量也在不断增加。8:30 拱部右侧 A 单元初期支护变形已达 1.5 m 左右, 涌水量约 $340\text{ m}^3/\text{d}$, 由于拱部巨大的压力, 中部核心土处钢支撑开始急剧变形, 核心土及拱部初期支护严重掉块、坍落。9:20 左右, 随着一声巨响, K255+281~+285 段严重变形致初期支护突然大面积坍塌, 电源随即中断, 拱部巨大的涌水夹带大量的泥和石块汹涌而出, 迅速将整个隧道及两侧水沟淹埋至磨黑端的 3 号横洞处 (K256+260)。9:35 拱部又发生了第二次特大的涌泥和涌水, 10:30

左右,泥砂和石块已堆积至磨黑端K255+410,K255+265~+342段隧道已被全部淹埋,元江端K255+234~+276段拱部初期支护也出现较大的变形和开裂,泥砂涌至K255+245。项目部组织人员上地表查看,发现在隧道下行线K255+290正上方在180 m高的地表上,形成了一个直径为25 m、深约15 m的陷坑。估计整个涌水总量达2.4万 m^3 ,涌出泥砂达1.1万 m^3 左右,见图1所示。

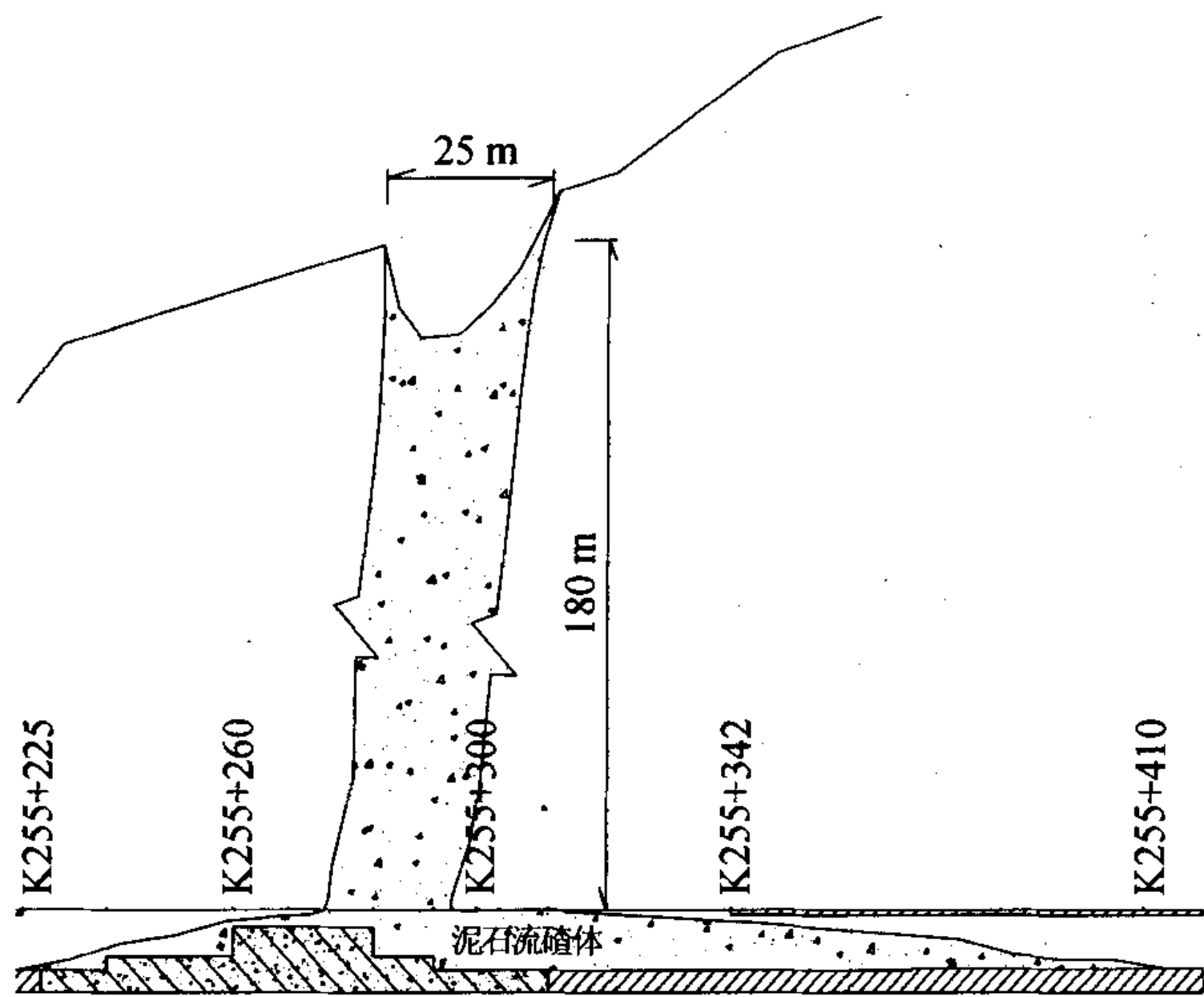


图1 地表陷坑及洞内土石流堆积情况示意

2.2 原因分析

根据K254+900~K255+700段地震CT和高密度电法检测结果分析,上行线塌方松动带的具体位置为地面位于K255+275~+335段,宽约60 m,洞内位于K255+250~+325段,宽约75 m,上下呈不规则的直立条带状,面积约12 600 m^2 。下行线地面位于K255+060~+360段,宽约300 m,中部(高程为1 820 m)位于K255+110~+260段,宽约150 m,洞内位于K255+150~+325段,宽约175 m,呈上大下小的不规则喇叭形,面积约28 350 m^2 。另外,通过地表调查发现,南溪河及其支流量明显减少,有2处断流,长度达150 m,下游约有40 hm^2 农田干涸。

根据土石流和涌水发生后的地质勘察结果,和在该隧道施工过程中的观察,本次土石流和涌水的发生主要与断裂带和丰富的地下水的强烈影响有关。

断裂破碎带是引起土石流、涌水的地质条件。受哀牢山大断裂活动影响,隧道K255+050~+360段处于8条断层集中发育区的断裂挤压破碎带,节理裂隙十分发育。

高水压是发生土石流、涌水的主要力学原因。该

区域地表分布了南溪河及其支流共5条常年流水地表水体。地表水与地下水联系畅通,地表水和基岩裂隙水有良好的运移下渗通道,使隧道上部汇集了大量高压水。

流体负压是造成围岩松动和地表陷落的主要原因。高水压在突水前表现为孔隙水压,在突水后立刻转化为流体负压,巨大的流体负压给隧道围岩施以巨大的拉应力,致使围岩被拉裂成碎块,地表形成塌陷。

3 涌水、土石流发生前后的情况

特大涌水、土石流发生前上行线二次衬砌已施工完毕,下行线上半断面A单元已贯通,二次衬砌未施工里程段为K255+162.3~+170、K255+225~+342。特大涌水、土石流发生后,上行线K255+150、K255+270、K255+310边墙施工缝处出现渗水,水沟内水流量明显增多,但未发现开裂变形;下行线K255+265~+342段,隧道已被全部淹埋,磨黑端泥砂涌至K255+410处,元江端K255+234~+276段拱部初期支护也出现了较大的变形和开裂,泥砂涌至K255+245,K255+162.3~+170未衬砌段涌水明显增加,在K255+290正上方180 m高的地表上形成一个直径达25 m、深达15 m的陷坑。

4 综合治理施工方案

针对特大涌水、土石流的规模、大风垭口隧道的地质情况和施工条件及工期要求,首先采取了紧急措施;然后,在进一步地质勘察的基础上,制订了综合治理方案,并及时进行了施工。综合治理施工时,做到严格遵循超前注浆、开挖、支护等施工程序,以确保围岩的固结,减少对松动围岩扰动,保护围岩的稳定性,控制发生新的病害。

4.1 紧急措施

(1)迅速撤出大风垭口隧道下行线两端掌子面的施工人员,暂停一切施工。

(2)派专人对元江端和磨黑端土石流、涌水情况进行观察,发现异常情况立即汇报项目部。

(3)待涌泥涌水基本稳定后,首先对元江端K255+234~+265段变形的初期支护使用I20工字钢进行紧急加固,防止坍方进一步发展。然后将K255+265~+276段A单元有严重变形的沉降初期支护剩余空间用钢纤维混凝土喷满封闭,控制其继续变形。再在K255+225~+239段紧急增设封闭层,封闭层为C25混凝土,厚为50 cm,宽为13.1 m,

使衬砌尽快形成封闭结构,增强其稳定性能,见图2 所示。

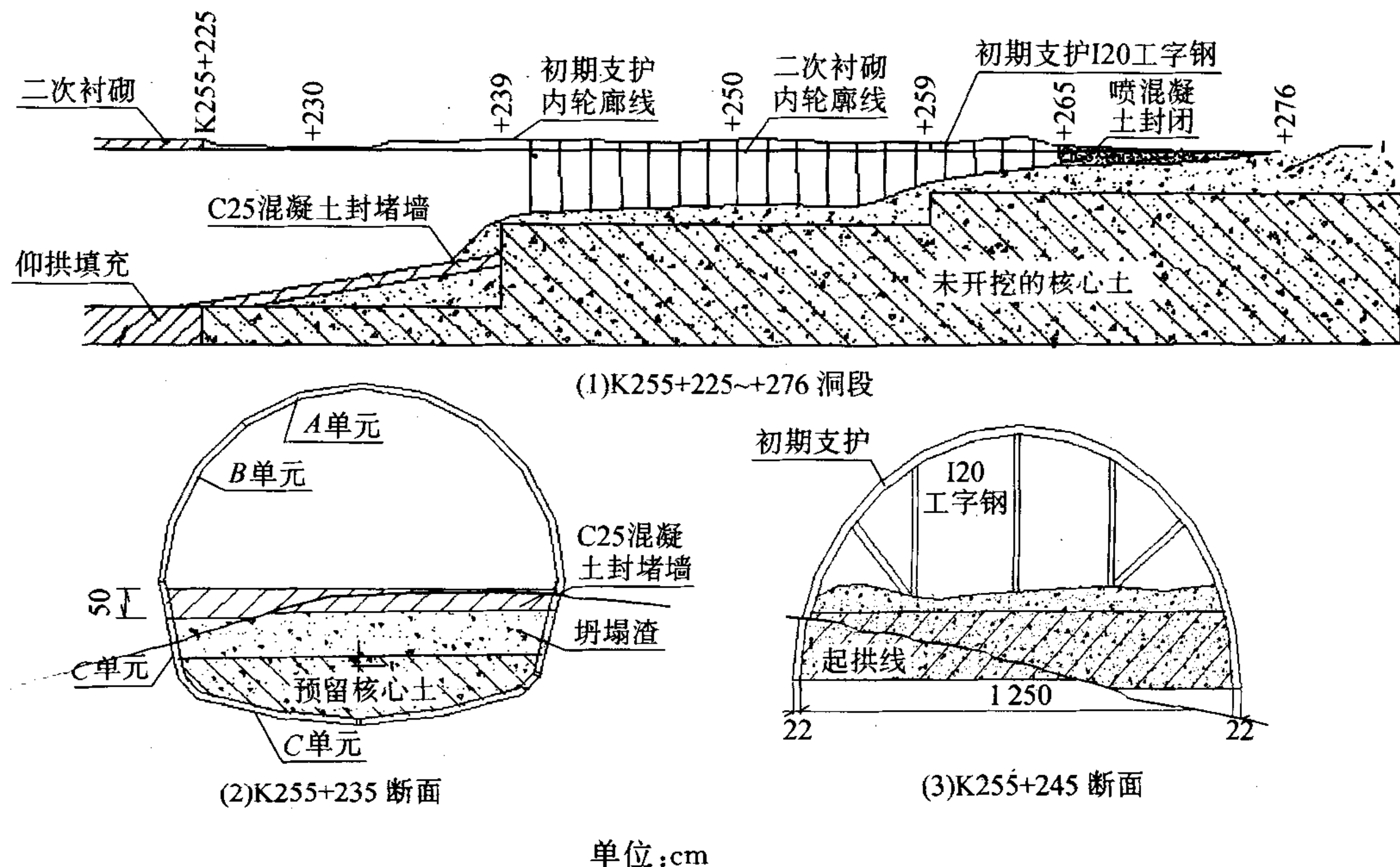


图2 元江端紧急措施示意

(4)立即派人对地表陷坑进行处理,并在陷坑上方施工截水沟,防止地表水下渗至隧道内。

4.2 综合治理设计

由于特大涌水、土石流,使得地表及上、下行线受损面积很大,为妥善处理,不留后患,结合地勘情况经专家组认真研究后,决定分地表、洞内上行线和下行线 I~Ⅷ 区段进行综合处理。

4.2.1 地表的处理

(1)地表径流断流引水处置。

将南溪河上游水流采用 7.5 号浆砌片石截水沟引入灌溉水渠,防止河水大量下渗,并在截水沟起点设一道拦水坝。

(2)坍坑处理。

坍穴周围采用 50 cm×50 cm 三面砂浆抹面截水沟形式拦截地表水,坍穴内用土回填夯实至坍坑下边缘高度,表面采用 10 号砂浆抹面,厚 8 cm。

4.2.2 上行线治理施工方案

上行线 K255+250~+320 为沿衬砌内侧径向布置长 10 m 自进式锚杆进行注浆加固,锚杆按梅花形、间距为 200 cm×200 cm 布置,注浆采用 C.S 双液浆。

4.2.3 下行线元江端治理施工方案

下行线元江端 (K255+146~+410) 根据地质情况分为 7 段,分别采取不同的治理措施。

(1) I 区 (K255+146~+152)。

由于该段原设计无仰拱,在路面下方增设 C25

混凝土平梁,平梁厚 54 cm,使二次衬砌闭合成环;径向按梅花形、间距为 200 cm×200 cm 交错布置长 8 m 的 GM51 自进式锚杆和 $\phi 60 \times 5.5$ 注浆管,进行深孔注浆加固,见图 3 所示。

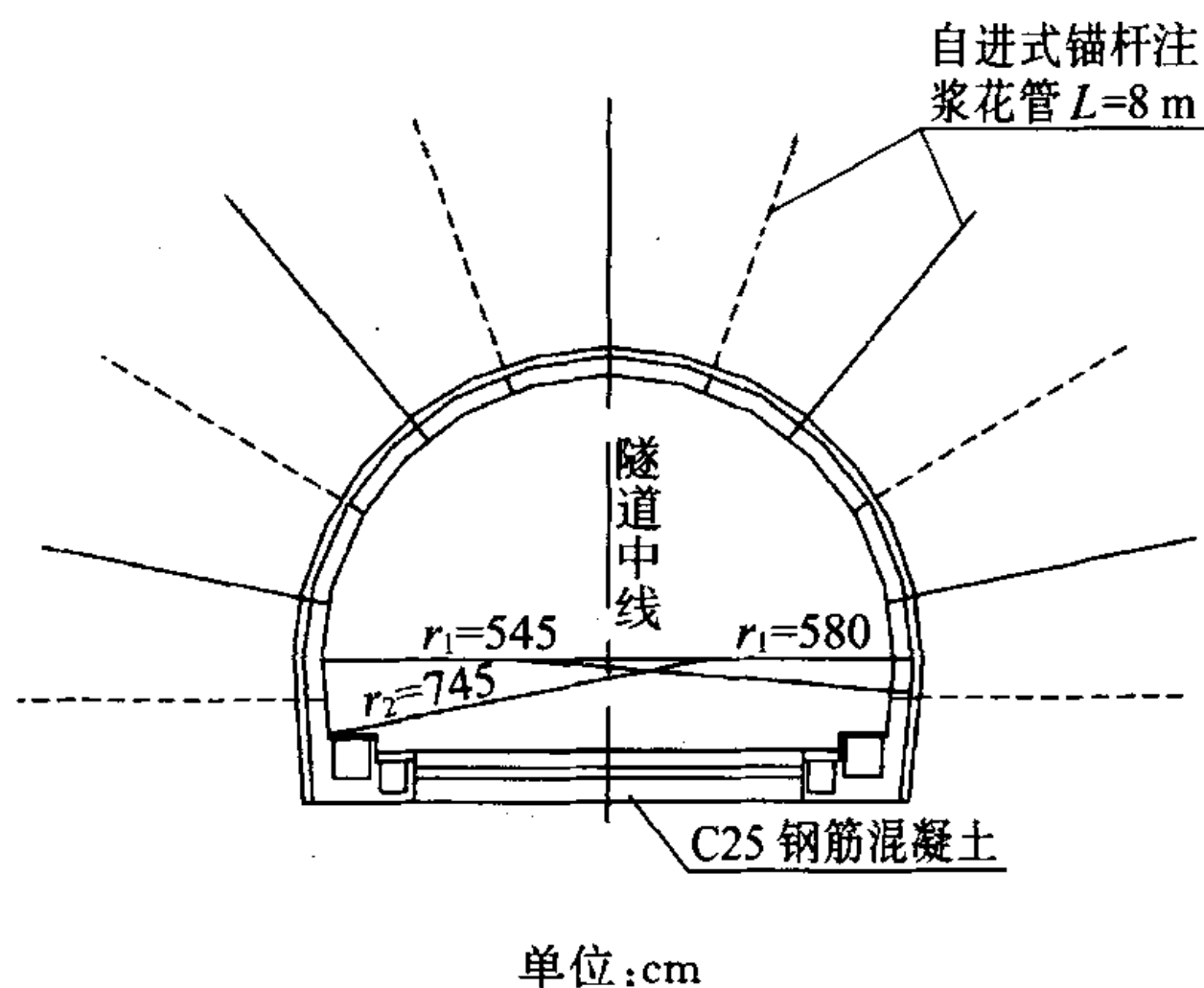


图3 自进式锚杆/注浆花管注浆加固示意

(2) II 区 (K255+152~+162.3)。

径向按梅花形、间距为 200 cm×200 cm 交错布置长为 15 m 的 GM51 自进式锚杆和 $\phi 60 \times 5.5$ 注浆管,进行深孔注浆加固。

(3) III 区 (K255+162.3~+170)。

该段施工时由于围岩压力和水压力均较大,使初期支护成型后涌水和变形严重,此次涌水、土石流发生后初期支护变形进一步加剧,因此对该段已变形的支护进行拆除并扩挖后,重新施作初期支护,初期支护钢

架采用I20 b 工字钢,间距为75 cm,钢纤维喷射混凝土厚22 cm;二次衬砌采用C25 钢筋混凝土,衬砌厚度为80 cm,二次衬砌施工后沿径向按梅花形、间距为200 cm×200 cm 交错布置长为15 m 的GM51 自进式锚杆和 $\phi 60 \times 5.5$ 注浆管,进行深孔注浆加固。

(4) IV 区(K255+170~+225)。

径向按梅花形、间距为200 cm×200 cm 交错布置长为15 m 的GM51 自进式锚杆和 $\phi 60 \times 5.5$ 注浆管,进行深孔注浆加固。

(5) V 区(K255+225~+234)。

该段原初期支护受坍方影响变形较大,对初期支护进行拆除并扩挖,重新施作初期支护。初期支护钢架采用I20 b 工字钢,间距为75 cm,喷射钢纤维混凝土厚22 cm;二次衬砌采用C25 钢筋混凝土,衬砌厚度为80 cm,环向主筋采用 $\phi 22$,间距为20 cm,纵向筋为 $\phi 18$,间距为20 cm;二次衬砌施工后,径向按梅花形、间距为200 cm×200 cm 交错布置长为15 m 的自进式锚杆和注浆管,进行深孔注浆加固。

(6) VI 区(K255+234~+265)。

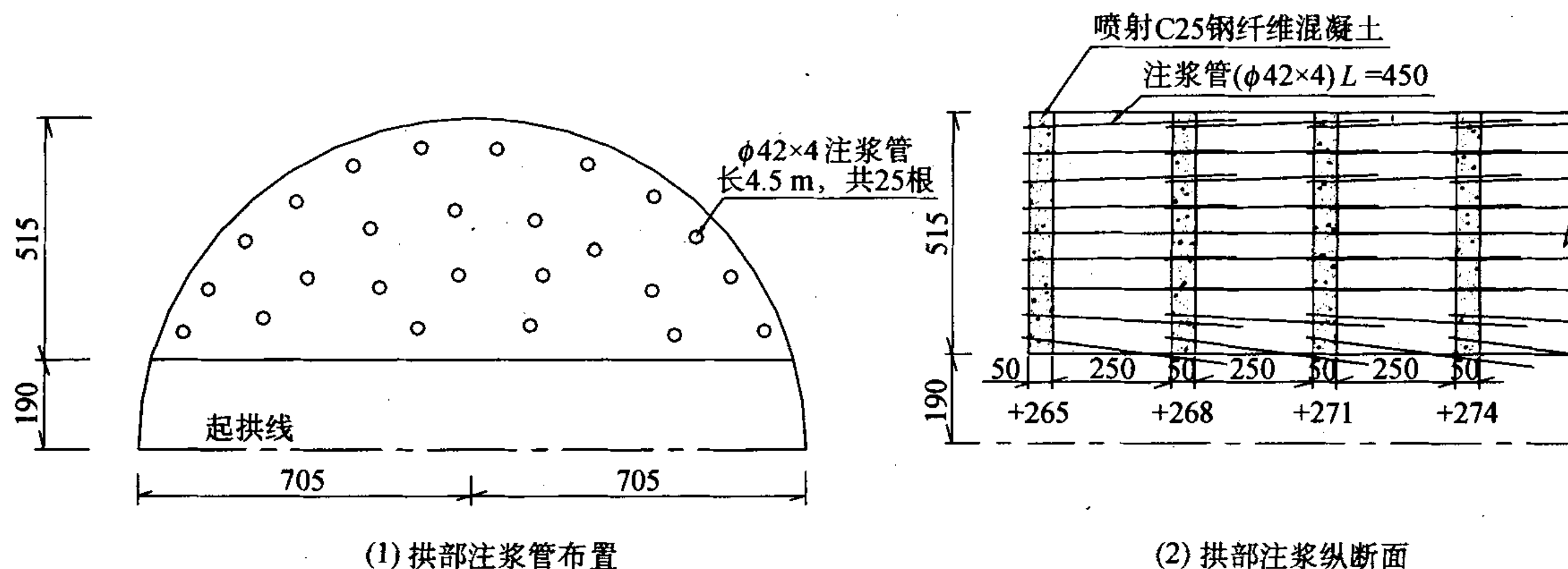
由于坍方后该段初期支护变形较大,为防止坍方范围扩大,在拱部初期支护上紧急施作一道加强

支护。加强支护参数为:I22 工字钢,间距为75 cm,喷射钢纤维混凝土厚度为30 cm,并在加强支护钢架内侧用I20 b 工字钢进行支撑(如图2),加强支护施工后,马上施工拱部二次衬砌,即按先拱后墙法施工。由于该段加强支护侵占了二次衬砌断面,致使拱部二次衬砌厚度只有50 cm 左右,因此二次衬砌采用C35 钢筋混凝土,厚为50 cm,环向钢筋用 $\phi 22$,间距为20 cm;纵向钢筋用 $\phi 18$,间距为20 cm。

二次衬砌施工后,径向按梅花形、间距为200 cm×200 cm 交错布置长为15 m 的GM51 自进式锚杆和 $\phi 60 \times 5.5$ 注浆管,进行深孔注浆加固。

(7) VII 区(K255+265~+284)。

该段初期支护已严重变形和坍毁并被突泥体堵塞,须全部重新进行开挖。为保证施工安全,该段拱部开挖前进行预注浆对突泥体进行固结,预注浆加固每4.5 m 一环,开挖3 m,留1.5 m 的止浆岩盘,共6 个循环。注浆管采用 $\phi 42 \times 4$ 无缝钢管,长4.5 m,间距为1~1.5 m,上半断面共布管25 根。在下行线K255+265、+268、+271、+274、+277、+280 处预注浆前采用喷射50 cm 厚的C25 钢纤维混凝土进行封堵,见图4 所示。该段二次衬砌同上,按先拱后墙法施工。



单位:cm

图4 封堵预注浆加固示意

其他施工参数如下。

超前支护:拱墙设双层长4.5 m 的小导管注浆,环向间距为40 cm,小导管外辐射角分别为5°、45°。

初期支护:I22 工字钢,间距为50 cm,喷射C25 钢纤维混凝土,厚为30 cm;径向按梅花形、间距为100 cm×100 cm 交错布置长为5 m 的小导管和WTD25 锚杆注浆。

二次衬砌:C25 钢筋混凝土厚为100 cm,环向钢筋和纵向钢筋均为 $\phi 22$,间距均为20 cm。

径向加固:二次衬砌施工后,径向按梅花形、间距为200 cm×200 cm 交错布置长为20 m 的GM51

自进式锚杆和 $\phi 60 \times 5.5$ 注浆管,进行深孔注浆加固。

4.2.4 下行线磨黑端治理施工方案

下行线磨黑端分为两段,分别采取不同的处理措施。

(1) I 区(K255+300~+410)。

坍方发生后,土石流体堆积至K255+410,水沟、电缆沟淤积至K255+630,见图5 所示,为防止土石流体继续涌出,采取如下步骤进行施工。

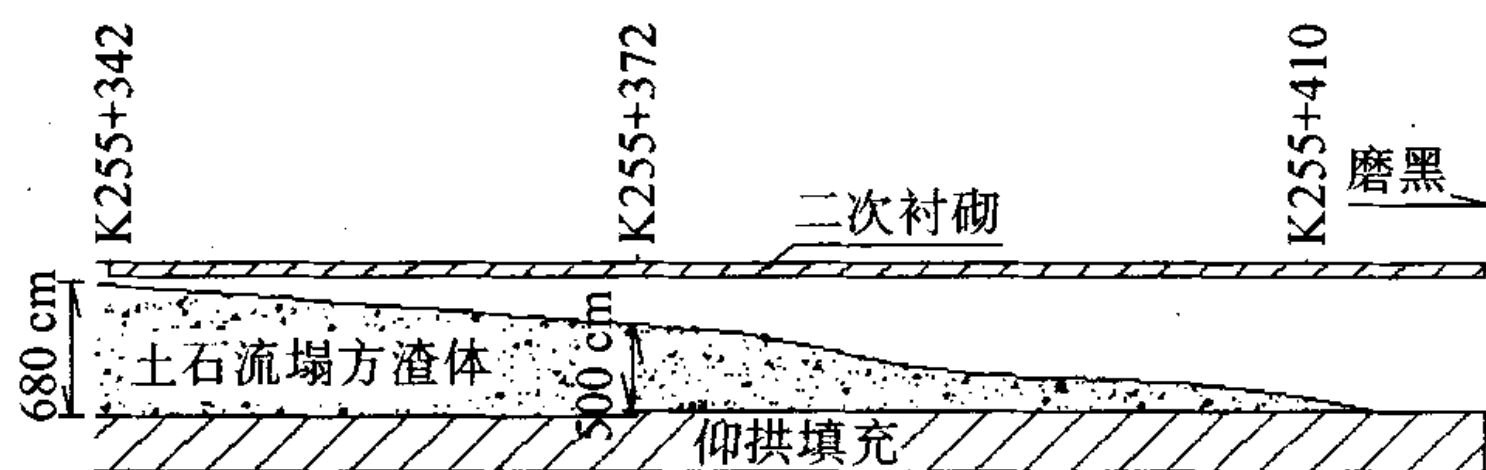
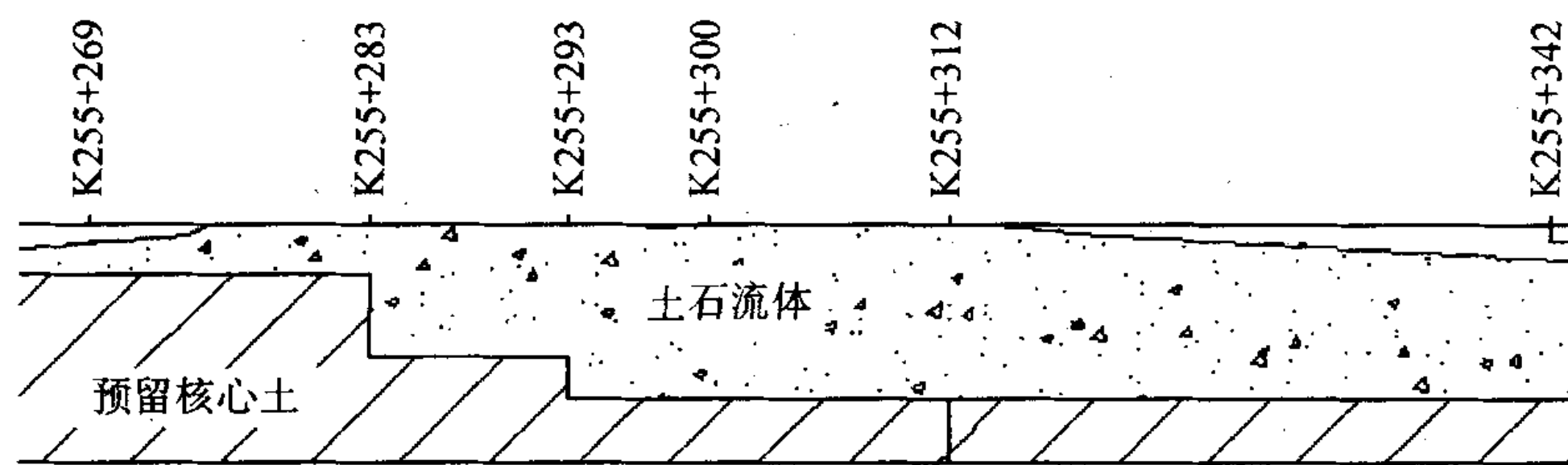


图5 磨黑端 K255+342~+410 泥石流沉渣状况

①从K255+410开始用机械出渣至K255+342处,人工清理K255+342~+630段隧道的两侧水沟

及电缆沟内坍塌。

②从K255+342处,人工开挖一探洞至K255+300,探洞截面为2 m×2 m。探洞开挖后,立即对探洞侧壁喷射厚为10 cm的C25钢纤维混凝土进行封闭,每开挖10 m对掌子面封堵一次,然后开挖A单元剩余部分。在A单元探洞开挖20 m后,见图6所示,再用人工开挖B单元,每10 m封堵一次,最后用机械出渣至K255+300。



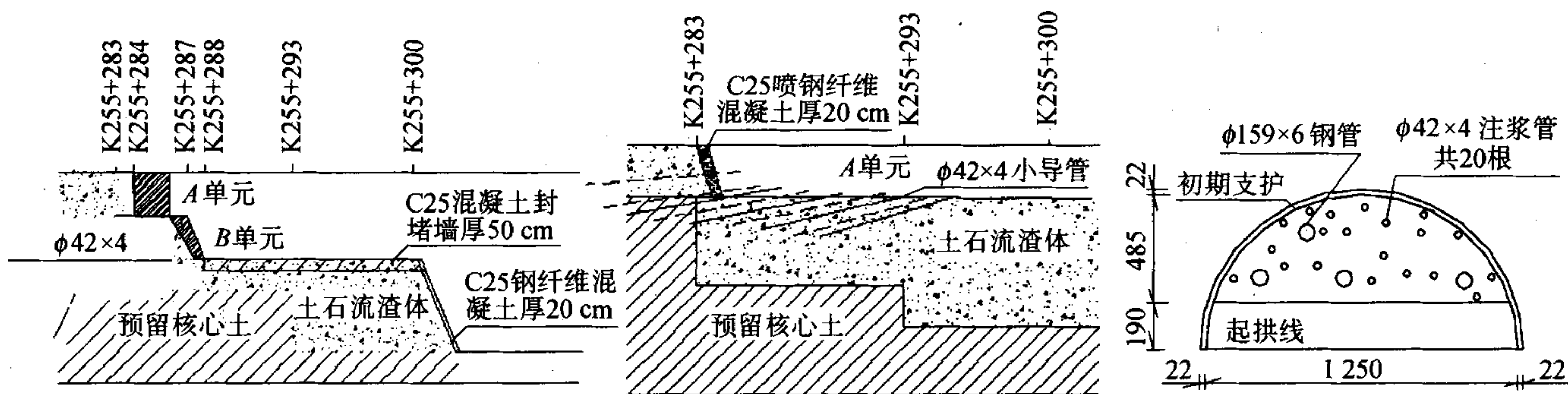
单位:cm

图6 磨黑端拱部A单元导坑开挖施工示意

(2) II区(K255+284~+300)。

该段由于已被土石流体堵塞,继续开挖探洞,探洞施工方法同上。通过探洞探明,K255+284~+288段初期支护已严重变形,K255+284处于坍方口位置,为防止土石流体涌出,拱部土石流体开挖至坍方口K255+284,然后在K255+284~+288段浇筑C25混凝土封堵墙。封堵墙分上下台阶,见图7所示,上台阶墙厚为2 m、高为2.2 m,下台阶墙厚为

1 m、高为1.85 m。鉴于掌子面涌水量大,浇灌混凝土时,在出水处预埋长5 m的 $\phi 159 \times 6$ 钢管排水,上台阶布置1根,下台阶布置3根;封堵墙施工后打设长为4.5 m的 $\phi 42 \times 4$ 注浆管进行注浆,注浆管上台阶布置12根,下台阶布置8根。注浆后磨黑端上半断面停止开挖,从元江端掘进贯通,以确保施工安全。该段二次衬砌同上,按先拱后墙法施工。K255+284~+288支护及衬砌参数与K255+265~+284相同。



单位:cm

图7 磨黑端拱部导坑开挖及封堵施工示意

5 塌方段洞身开挖施工程序

综合治理施工结束后,即进行洞身开挖施工。在洞身开挖中,采取了“管超前、严注浆、短进尺、少扰动、快支护、勤量测”的原则,适当减少开挖跨度,分步进行开挖作业。先从拱部分步开挖,并留有核心

土。其开挖和衬砌施工顺序如图8所示:(1)开挖拱部左侧A单元岩土;(2)开挖拱部右侧A单元的岩土;(3)开挖拱部左侧B单元岩土;(4)开挖拱部右侧B单元岩土;(5)预留变形量30 cm,铺设防水层,浇筑拱部左右A、B单元二次衬砌;(6)待拱部二次衬

砌发挥作用后,挖出拱部核心土;(7)挖除左侧C单元岩土;(8)铺设防水层,浇注左侧C单元二次衬砌;(9)挖除右侧C单元岩土;(10)铺设防水层,浇注右侧C单元二次衬砌;(11)挖除C单元核心土,形成隧道洞室;(12)开挖仰拱处的岩土;(13)浇筑仰拱混凝土,回填仰拱的混凝土,构筑成隧道底面。

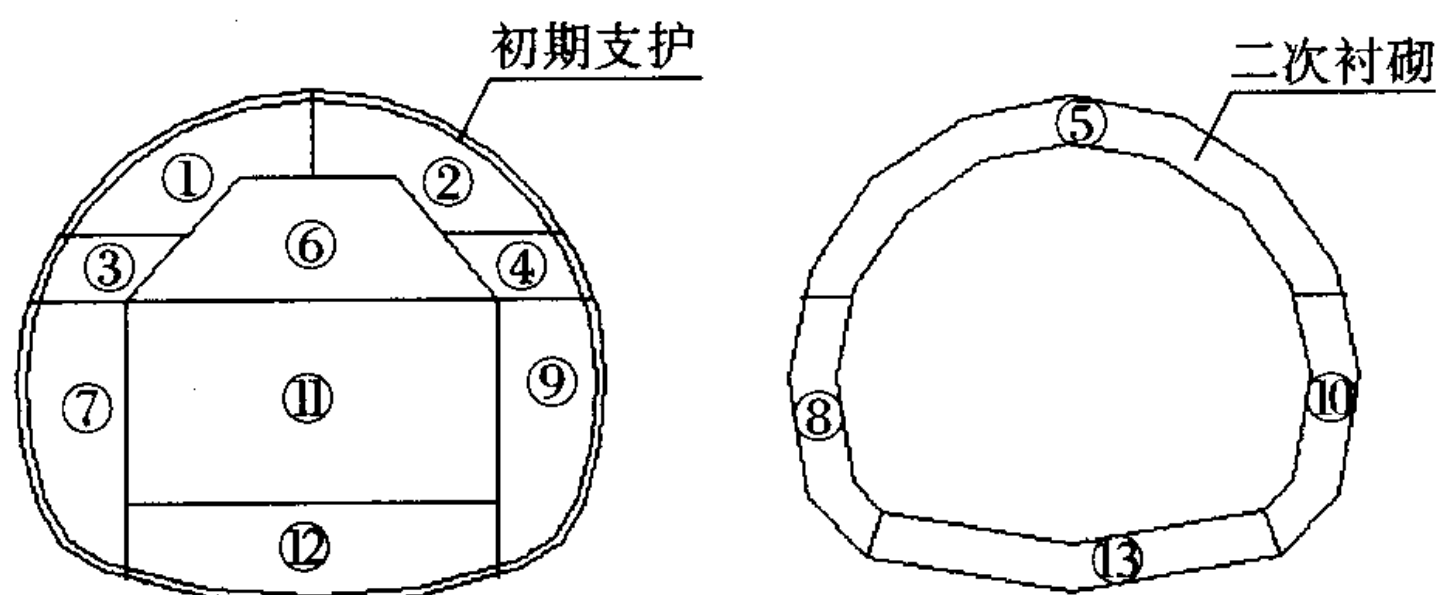


图8 开挖和衬砌施工顺序示意(序号为施工先后顺序)

按上述步骤施工中,多方面采取措施,控制引发新的病害,加强监控力度,及时发出预警,做到安全施工。量测项目主要有对初期支护A、B、C单元的拱顶沉降和周边收敛,初期支护钢架内力、二次衬砌钢筋内力。量测断面每5~10 m设一组,量测频率取设计要求上限值(大值)。

6 防排水施工措施

由于特大涌水、土石流发生后,形成连通至地表的坍塌区,南溪河水大量下渗;另外,深孔注浆是在二次衬砌施工后进行的,为彻底地防止该段竣工后出现渗漏水现象,分别采取以下方法。

(1)对下行线K255+136~+300,拱部采用浅表层注C.S双液浆,补充深孔注浆死角,孔深2 m,其中K255+136~+225整体式衬砌地段,按梅花形、间距为400 cm×400 cm布置注浆孔;K255+225~+300先拱后墙衬砌地段,按梅花形、间距为200 cm×200 cm布置注浆孔。

(2)对下行线K255+136~+300施工缝及渗水点,采用高分子化学材料(主要材料:丙烯酰胺)进行灌浆堵水。

(3)在下行线K255+136~+300二次衬砌表面(瓷砖以上部分),涂抹生物水泥(水泥基结晶渗透型防水材料)形成防水层。

(4)对下行线K255+234~+300先拱后墙施工部分,在拱墙连接处凿槽安设纵向弹簧排水管($\phi 50$ mm),在边墙施工缝及渗水点位置凿槽安设竖向弹簧排水管($\phi 50$ mm),将部分渗水引至两侧边沟。

(5)深孔注浆后,沿下行线K255+150~+300,在隧道行车方向右侧设排水孔,孔径为100 mm,长20 m,纵向间距为20 m,孔内安装 $\phi 100$ mm的PVC管。

(6)在下行线K255+136~+300左右边墙脚,打深为4 m、孔径为42 mm的泄水孔,间距为3 m。

7 结语

自2003年9月20日发生特大涌水、土石流至2004年4月28日径向深孔注浆锚杆、小导管施工结束,历时共计220 d。经后期监测数据和地质雷达检测结果分析,整个治理施工质量和效果比较理想,南溪河水系和农田浇灌得以恢复,洞内无渗漏水现象,隧道通车运营一年多来一切良好。在整个设计施工过程中有如下几点体会。

(1)治理设计施工的总体思路应遵循“查清地质、全面治理、确保质量、不留后患”的原则。

(2)治理步骤大体分四步走:一“护”,即先加固保护两端受损未坍塌支护,防止损失扩大;二“固”,即处理土石流之前要先进行注浆固结和堵水,确保施工安全;三“挖”,即开挖,开挖一定要按照“小断面、短进尺、少扰动”的方法;四“衬”,即一、二次衬砌,衬砌一定要紧跟掌子面,实现快封闭。

(3)施工方法是确保施工安全和质量的关键,应切实严格遵循“管超前、严注浆、短进尺、少扰动、快支护、勤量测”的原则。

(4)针对隧道地表南溪河水系破坏、洞内涌水的治理方案曾有过争论,但实践证明采用“截、堵、排”相结合的方法进行综合治理是合理的。即,对地表南溪河采用“截”,防止下渗;对大股涌水采取“堵”,防止大量涌水夹带泥砂淘蚀坍塌,确保隧道稳定;对小股涌水采取“排”的方法,降低地下水压力。

参考文献:

- [1] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [2] 铁道部第二工程局. 铁路工程施工技术手册《隧道》[M]. 北京:中国铁道出版社,1995.
- [3] 杜嘉鸿,张崇瑞,等. 地下建筑注浆工程简明手册[M]. 北京:科学出版社,1992.
- [4] JTJ 042-94,公路隧道施工技术规范[S].
- [5] 李国锋,丁文其,苏生瑞,等. 特殊地质公路隧道动态设计施工技术[M]. 北京:人民交通出版社,2005.