

文章编号: 0451-0712(2005)11-0217-08

中图分类号: U455.2

文献标识码: B

# 桐油山连拱隧道施工技术

李长德

(中铁五局五公司 柳州市 545006)

**摘 要:** 柳州市南二环路桐油山隧道采用双连拱结构,具有大跨度、浅埋偏压、溶洞发育等特点,浅、深埋地段分别采用双侧壁-中导洞、中导洞-正台阶法分部开挖,提出了受浅埋偏压及断层影响时确定左、右隧施工顺序的原则。在大型粘土充填溶洞地段采用左、中、右钢筋混凝土地基梁跨越处理,针对双连拱隧道易出现渗水的通病,总结了一套实用的防水施工方法。介绍了简易自制的钢拱架冷弯设备,并对中墙顶部回填施工、受力体系转换进行了介绍。

**关键词:** 双连拱隧道; 施工; 浅埋偏压; 工字钢支撑; 地基梁; 溶洞处理

按照《公路隧道设计规范》(JTJ 026-90)第2.6.3条,高速公路一般应设计为上、下行分离的两座独立隧道,隧道之间的最小净距应保证相邻隧道分别处于对方围岩压力影响和施工影响范围之外。最小净距根据围岩类别、断面尺寸等因素确定为 $1.5B\sim5.0B$ ( $B$ 为隧道开挖断面宽度),一般达30 m以上。如图1所示,两座独立隧道相互靠拢,内侧两混凝土边墙合并成为混凝土中墙,独立双洞之间所夹的岩柱被混凝土取代,就形成了“m”形连拱隧道结构。连拱隧道宽度基本与整体式路基一致,可轻而易举地实现与洞外线路的顺畅连接,减少占地。节约土地是我国的基本国策。为避免与民争地,避免深挖路堑、保护环境,20世纪90年代以来,双连拱隧道得到较大发展,各地均有应用,预计今后还会增加。我国单洞隧道技术已十分成熟,连拱隧道作为一种新型结构形式,相对单洞隧道,其结构复杂,可供借鉴的设计和施工经验都不多,对其认识尚在摸索之中,目前设计、施工规范均未有连拱隧道的规定,双连拱隧道施工技术有待于隧道工程技术人员不断总结积累,使双连拱隧道这一新型结构在公路建设中发挥更大的作用。

收稿日期: 2005-04-29

## 1 工程概况

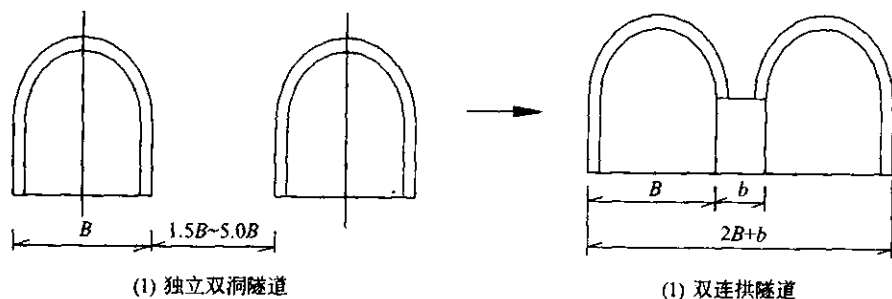
桐油山隧道为广西柳州市南二环路新建的1座双连拱隧道,隧道全长465 m,开挖断面宽27.66~28.56 m,高8.22~8.92 m。内轮廓采用直中(边)墙、三心圆拱圈形式,上下行单向分离式交通。

隧道地处碳酸盐岩地区,岩溶地貌特征明显。进口端180 m隧道轴线基本与山体等高线平行,沿山体坡脚线延伸,该地段原为低凹的槽谷,目前地表为开山废渣堆积而成,覆盖层由上至下分为堆积层(厚约5~10 m)、强(弱)风化岩层(厚约3~10 m)。隧道左侧有条F2断层破碎带。破碎带走向与隧道轴线呈 $50^{\circ}\sim60^{\circ}$ 夹角,东端距隧道最近,至隧道轴线约为30 m。该断层上窄下宽,宽约为4~14 m,倾角约为 $80^{\circ}$ ,倾向北。破碎带内为粘土、石块填充。受该破碎带影响,围岩节理裂隙比较发育,该段属典型的浅埋偏压隧道。出口端285 m隧道,斜向穿越桐油山主峰,岩层走向为北东 $5^{\circ}\sim20^{\circ}$ ,倾角 $10^{\circ}\sim16^{\circ}$ ,为稳定的单斜岩层构造。该段地层岩性为白云岩、灰岩、白云质灰岩,岩层完整,结构致密,质硬且脆,围岩地质条件较好,见图2所示。

桐油山及两侧地势较高,地表未见有地下水出

simulation. The results show that reasonable excavation and reinforcement can effectively reduce disadvantageous influence caused by blasting excavation on the pre-constructed tunnel, and the in-site monitor should be focused on the near blast side. Conclusions can offer helpful reference to blasting control design, blasting excavation and in-site monitor of similar twin tunnel with small spacing.

**Key words:** tunnel; small clear spacing; blasting control; numerical simulation



$B$  为单洞隧道开挖宽度;  $b$  为混凝土中隔墙厚度(一般为 1.5~2.5 m)

图 1 双连拱隧道结构

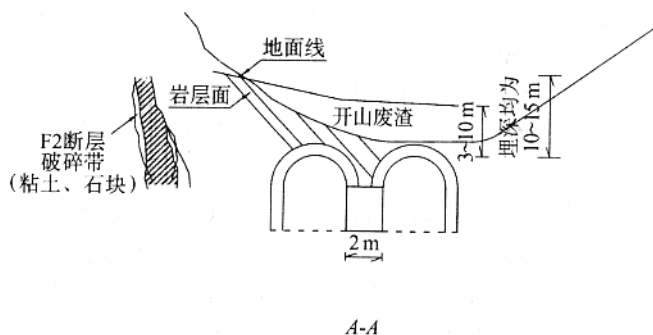
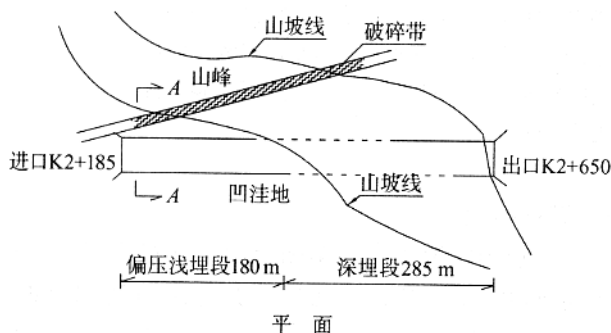


图 2 桐油山隧道平面示意

露。地下水主要为岩溶裂隙水,受地表降水补给。柳州市属亚热带气候,湿热多雨,雨季集中在 4~8 月份,平均年降雨量达 1 454 mm。

桐油山隧道按新奥法原理设计、施工,采用复合式衬砌结构。全隧道由进口到出口划分为明洞、Ⅲ类围岩衬砌、Ⅴ类围岩衬砌、Ⅲ类加强围岩衬砌 4 个衬砌段。

防排水设计:初期支护与二次衬砌之间设复合土工布塑料防水板防水层。沿中隔墙顶,纵向通长设置 MY8C 塑料管盲沟,每隔 10 m 在中墙混凝土内设竖向排水管,将墙顶盲沟积水引至排水沟。施工缝设置 BW-96 型膨胀橡胶止水条止水。

## 2 隧道开挖及支护施工

连拱隧道结构最大的特点,在于左右拱圈共用一个支点——中隔墙。连拱隧道总体开挖宽度一般在 30 m 左右,跨度较大,且中隔墙顶为倒三角形岩块。从安全角度考虑,不可能采用整体一次性全断面开挖,左、右洞需错开施工。无论先施工左洞还是右洞,必须先施工中隔墙,为左右洞衬砌支护结构提供支撑。总体施工方案采用先开挖中导洞,待中导洞贯通后浇筑混凝土中隔墙,形成中墙支撑,然后错开施工左洞或右洞。

### 2.1 偏压浅埋段隧道

#### 2.1.1 中导洞—双侧壁三导洞先墙后拱法

K2+195~+365 段属浅埋偏压段。洞顶岩层薄、围岩破碎,自成拱能力差。根据地质条件,采用中导洞+双侧壁导洞法施工。中导洞—双侧壁三导洞先墙后拱法施工工序划分如图 3 所示。

中导洞、两侧壁导洞超前开挖,导洞贯通后浇筑中隔墙、边墙混凝土,然后进行正洞拱部开挖,施作正洞拱部初期支护,最后进行拱部二次衬砌。双侧壁导洞法可快速及时形成封闭支护,步步为营,控制、约束围岩变形,常应用于浅埋、软弱破碎等不良地质段。

#### 2.1.2 左、右洞施工顺序

如图 2 所示,进口端属浅埋偏压隧道,F2 断层沿隧道纵向延伸,最近处间距仅为 30 m。在如此复杂条件下,左、右洞开挖顺序应慎重对待。李志厚、刘庭金、朱合华<sup>[2]</sup>曾对类似条件的某连拱隧道,采用有限元模型进行动态施工模拟计算。数值模拟计算显示,支护结构的受力特点相同,二次衬砌在与中隔墙顶部连接处、靠山侧隧道拱顶及右起拱线处承受较大弯矩,为最不利截面,但采用不同施工顺序,支护结构轴力、弯矩大小明显不同。结论是先施工外侧,后施工靠山侧隧道。笔者认为,双连拱隧道左右隧相连,采用何种施工顺序,其出发点主要是为了尽可能地降低后施工隧道的开挖对已施工衬砌隧道的扰

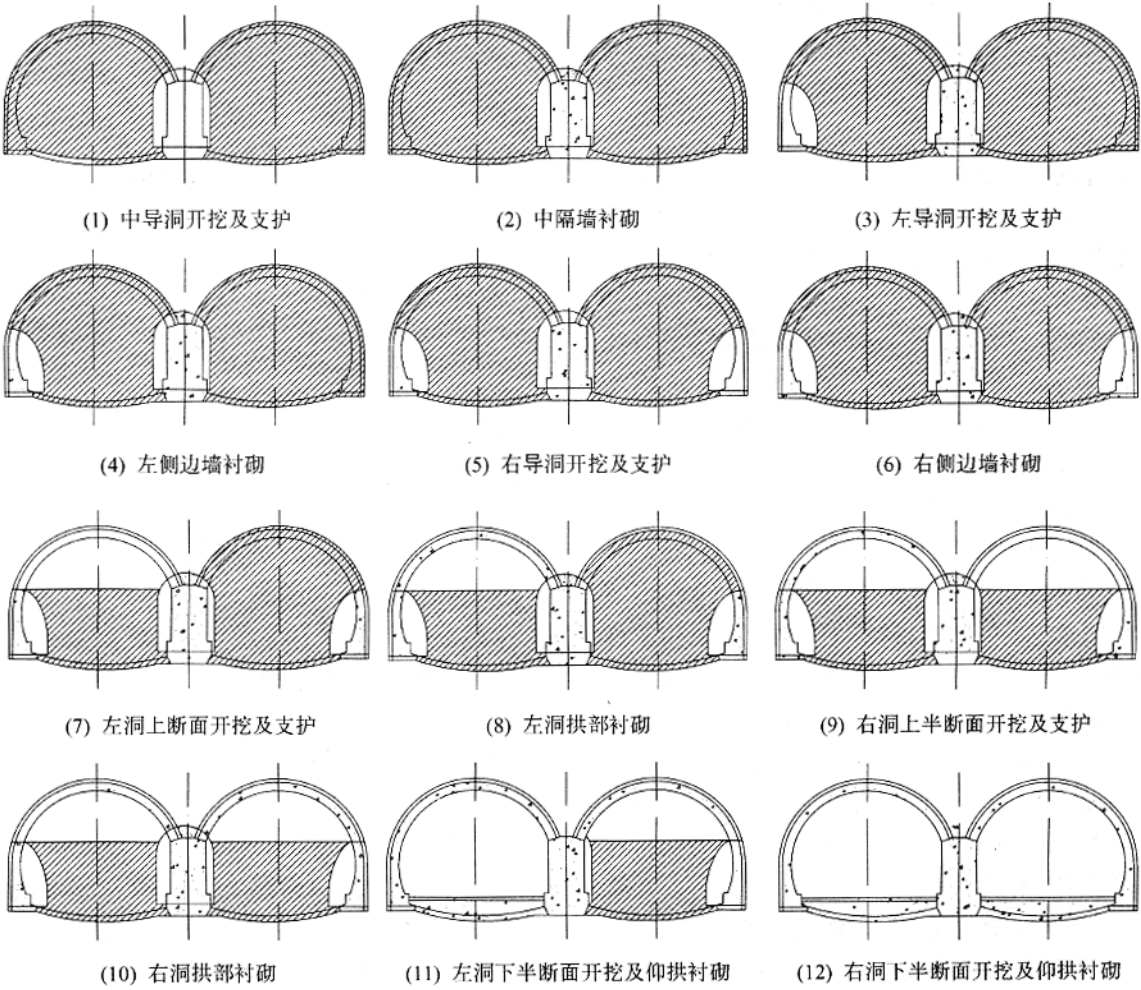


图 3 中导洞—双侧壁三导洞先墙后拱法施工工序

动，围岩越完整，结构就越稳定，其抵抗二次扰动的能力就越强。根据现场调查，桐油山隧道进口左侧山体厚，且相对较为完整（靠山侧），右侧山体薄且节理发育、风化严重，最终采取先施工靠山侧（左侧）隧道的施工方案。为将左、右隧道施工扰动影响降低至最低限度，严格贯彻执行左侧隧道（即靠山侧）衬砌超前右隧开挖，右隧开挖时，左隧已形成稳固的全封闭支护结构。按此顺序施工，顺利通过了浅埋偏压段，未出现支护结构开裂破坏的现象，说明该指导思想是正确的。

2.1.3 隧道支护结构及施工

2.1.3.1 支护结构

本隧道按新奥法原则设计、施工，浅埋段采用喷锚初期支护及钢筋混凝土二次衬砌，二次衬砌承受相当大的围岩荷载。初期支护目的是及时封闭、稳定围岩，为二次钢筋混凝土衬砌争取时机。该段隧道位于山脚，轴线与山体等高线平行，洞顶覆盖岩层沿山

坡坡度线延伸，总体岩层厚度偏薄，但左侧相对较为厚实，右侧岩体薄弱，受溶隙风化的影响亦更明显。中导洞开挖揭示，沿隧道横断面，左侧围岩明显好于右侧围岩。右侧围岩裂缝发育，常被水溶蚀成扩大溶槽，槽内充填粘土；同时，溶隙、溶槽四周相当范围内（一般为 0.5~2 m）的白云岩、灰岩已风化成石屑状，远看似为完整的岩层，但一触碰受力即成松散的石屑。

在如此地质情况下，采取强有力的初期支护、封闭、稳定围岩，避免坍方，形成洞室空间，是顺利建立隧道的前提条件。根据开挖揭示的实际地质条件，对隧道支护结构设计进行了如下变更。

(1) 中导洞。

原设计采用喷素 C20 混凝土厚 8 cm，变更后采用  $\phi 22$  钢筋格栅支撑（间距 100 cm）+  $\phi 22$  超前锚杆（ $L=300$  cm，环向间距为 30 cm，纵向搭接长度为 1.0 m）+ 喷 C20 混凝土，厚 20 cm。

(2) 右侧导洞。

增设超前锚杆。临时支护采用: $\phi 22$  钢筋格栅支撑(间距 100 cm)+ $\phi 22$  超前锚杆( $L=300$  cm、环向间距为 30 cm、纵向搭接长度为 1.0 m)+喷 C20 混凝土,厚 15 cm。

### (3) 右隧支护结构。

增设钢筋混凝土仰拱,形成封闭衬砌环。 $\phi 22$  钢筋格栅支撑改为 I18 工字钢支撑。喷混凝土加厚。增设超前小导管注浆。初期支护采用: $\phi 22$  径向锚杆+I18 工字钢架支撑(间距 50 cm)+ $\phi 42$  超前小导管注浆( $L=300$  cm、环向间距为 30 cm,纵向间距为 1.5 m/环,注纯水泥浆,拱部设置)+钢筋网+喷 C20 混凝土,厚 25 cm。

## 2.1.3.2 初期支护施工

### (1) 工字钢支撑。

相对于  $\phi 22$  钢筋格栅支撑,型钢支撑刚度大,只要与围岩形成密实的点状接触,便可即时发挥支护作用,特别适用于自稳性差的软弱围岩及不良地质段。

工字钢支撑采用分节加工预制,现场拼装。每节长 2~4 m,以方便人工安装为宜。节与节之间通过厚为 10 mm 的钢板和  $\phi 20$  螺栓连接。工字钢与连接钢板焊缝是整个钢支撑最弱的截面,工字钢通常在该处开裂破坏,增设 2 块梯形加强板与工字钢、连接钢板焊接,增大焊缝长度,从而增大连接板强度。受工字钢加工弧度、围岩开挖面弧度不圆顺的制约,工字钢连接板之间常存在楔形缝隙,应楔入薄铁板并焊接稳固,使相邻两节工字钢形成刚性接触,既可通过螺栓传递拉力,又可传递压力。

工字钢节的弧度采用冷弯成型,以保证加工后的力学强度。常有施工单位采取热法加工或间距 50 cm 在工字钢下腹板切出楔缝再合拢焊接,形成所需弧度的办法进行加工,是不可取的。

如图 4 所示,工字钢冷弯加工设备主要由厚为 2 cm 钢板及千斤顶组成。所有加工设备、材料均放在或焊在钢垫板上,既可保证加工后工字钢节的平整度,又使加工系统成为作用力与反作用力相互抵消的内受力系统。千斤顶吨位宜大于 100 t。千斤顶顶端设弧形导板,以免千斤顶与工字钢之间点状受力而导致工字钢局部塑性变形破坏,又可引导工字钢顺利弯成所需的弧度形状,故称之为弧形导板。工字钢受千斤顶挤压易产生上拱翘曲变形,在钢垫板上,于工字钢两端加焊“ $\blacktriangle$ ”形限位件,挤压冷弯工字钢时,在限位件与工字钢腹板之间楔紧木块,可有效解决上述问题。该设备结构简单,成本低,可现场

自加工。

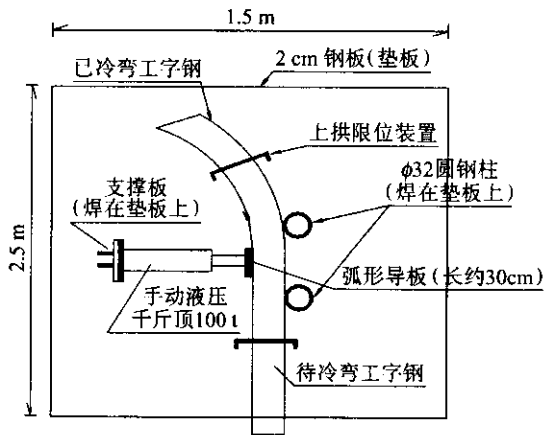


图 4 工字钢加工设备示意

### (2) 超前小导管注浆。

超前小导管采用  $\phi 42 \times 5$  无缝钢管,钢管前端 1.5 m 长度范围内,管壁上钻设  $\phi 8$  注浆孔。使用 YT-28 型气腿式风动凿岩机钻孔,并用高压风吹净孔内杂物。注浆使用挤压式注浆泵,注浆材料为纯水泥浆,水灰比 1:0.8~1:2,注浆压力为 0.5~1.0 MPa。注浆按照先低后高,由两侧拱脚向拱顶顺序进行。浆液浓度由稀到浓,注浆结束标准按注浆量和注浆压力双控,当注浆压力达到设计值且注浆量达到 80% 设计值时,即可结束注浆。

风动式凿岩机钻杆至机头顶部需 20 cm 左右的操作空间,钻超前小导管孔时,初期支护已施作完毕,受上述条件的制约,须加大超前小导管的仰角(一般达  $20^\circ$ ),从而导致小导管至设计开挖面之间的三角形区域内岩块自动塌落,形成人为超挖,既增加了喷层回填工程量及施工难度,影响进度,又易导致进一步坍塌。施工中采取上一循环最后一榀工字钢架支撑暂不喷射混凝土,同时在该榀钢架腹板上事先按超前小导管环向间距钻孔,钻杆从腹板孔中穿过,钻设下一循环的超前小导管孔眼,降低了钻孔对操作空间高度的要求,基本上解决了超前小导管大仰角的问题(一般小于  $5^\circ \sim 10^\circ$ )。

## 2.2 深埋段隧道

K2+365~+650 段岩层结构完整、致密,埋深较大,围岩地质条件及稳定性较好,为减少施工工序加快施工进度,采用中导洞—正洞台阶法施工。其施工工序划分如图 5 所示。

开挖左、右隧时,中导洞中隔墙混凝土已浇筑,正洞爆破又需利用中导洞作为临空面,为保护中墙

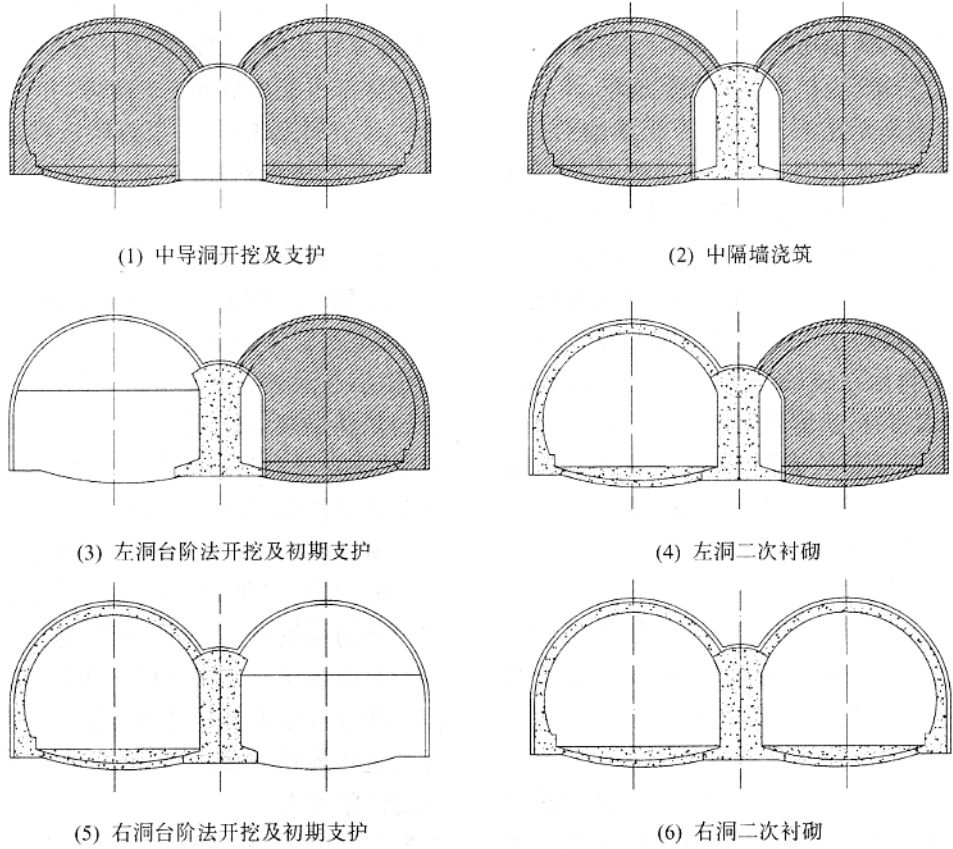


图 5 中导洞—正洞台阶法工序

混凝土表面免受爆破飞石的冲击,施工中,通过覆盖竹跳板防护,取得了较好的效果。

2.3 中隔墙顶处理措施

通过浅埋段地表沉降观测,地表下沉曲线为凹形,中隔墙附近的沉降值达到 36 mm。因此,充分发挥中隔墙的支柱作用,减小隧道开挖跨度,维持围岩稳定尤显重要。开挖左、右正洞之前,必须首先回填密实中隔墙顶与中导洞临时支护之间的空间。中隔墙顶岩石被左、右洞、中导洞开挖切割成三角形岩块,块体小且经受 3 次爆破扰动,为加强该三角形岩体的整体性、稳固性,左隧开挖施作初期支护后,从左隧往右隧对该区域进行注浆处理,既加固岩体、充填密实了中隔墙墙顶回填材料与三角岩体之间的微小裂隙,又加强了该区域的防水、止水效果。

对于中隔墙墙顶回填材料,笔者认为采用喷射混凝土回填是不可取的。目前国内喷射工艺大部分采用干喷。中隔墙顶空间狭小,操作不便,松散的干喷回弹料堆积在中墙顶,使墙顶回填存在很多蜂窝孔洞,极不密实。桐油山隧道中墙顶回填,采用现浇混凝土并掺加 HEA 膨胀剂,回填混凝土接顶紧密。

为加快施工速度,亦可改用湿喷回填。

2.4 中导洞—双侧壁三导洞法与中导洞—正洞台阶法比较

中导洞—双侧壁三导洞先墙后拱法,具有支护闭合及时,结构刚度大,对于确保施工安全具有较大优势,适用于围岩软弱破碎、浅埋偏压等特殊地质地段施工,一般Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类围岩均采用三导洞施工。但该法分部较多,作业面狭窄,机械化作业程度低,且须增加较多的临时支护,不利于加快施工进度、改善作业条件、控制工程造价。

中导洞—正洞台阶法具有工序较简单,机械化程度高,临时初期支护工作量小,施工进度快,节约成本的特点,一般用于Ⅲ类及以上围岩地质情况下的连拱隧道施工。

3 防排水施工

桐油山隧道设计主要采用防、排水两种措施。

防水:塑料防水板+防水混凝土二次衬砌+施工缝膨胀橡胶止水条。

排水:中隔墙顶纵向排水盲管、中隔墙内竖向排

水管+洞内排水沟。

导洞开挖揭示,桐油山地下水为岩溶裂隙水,受地表降水补给。雨季洞内出现“水帘洞”现象,旱季洞内则干燥无水。水是无孔不入的,地下工程施工条件差,塑料防水板很难保证密不透水。实践表明,单纯防水是防不住的,地下工程防水的设计和施工应遵循“防、排、截、堵相结合,刚柔相济,因地制宜,综合治理”的原则。从设计上看,桐油山隧道防水措施较为完善,但其排水措施仅在中隔墙位置采用,全隧未形成完整通畅的排水系统,施工中在左、右隧墙脚增设纵向 $\phi 100$ 排水盲管,拱墙背后增设环向 $\phi 100$ 排水盲管,纵向盲管全隧通长设置,环向盲管间隔10 m设置1道。排水盲管引排的地下水最终通过中(边)墙横向泄水管排入洞内纵向水沟。

### 3.1 塑料防水板施工

防水板施工是一项非常精细的工作,往往因一点被击破,导致全盘崩溃,这就是隧道防水被称为难题的原因所在。

#### 3.1.1 基面处理

全面检查基层(即喷射混凝土层)。割除突出的锚杆、钢筋头并打磨光滑。通过补喷混凝土或抹快凝砂浆找平喷层表面较大的凹坑,为铺设防水板提供平整、圆顺的良好基面。

#### 3.1.2 无钉铺设

为有效保持防水层的整体性,防水板安装采用无钉铺设工艺。桐油山隧道采用无纺布与塑料防水板复合的整体防水层。施工时,对无钉铺设工艺进行了改进,取消暗钉圈热焊工序。具体做法是,无纺布与塑料防水板之间粘上尼龙绳,用 $4\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 的薄铁片将尼龙绳压在喷层表面,使用射钉枪将射钉固定,然后缠绕系紧尼龙绳即可。该法将无纺布、防水板的铺设合二为一,一次完成,施工速度快且铺设稳固。

#### 3.1.3 塑料防水板焊接

单幅防水板的宽度一般为 $2\sim 4\text{ m}$ 。每一次防水层铺设的长度应大于一环衬砌施工的长度(一般为 $8\sim 12\text{ m}$ )。塑料防水板采用TH-5型土工膜焊接机双焊缝焊接,两幅防水板搭接长度不小于 $10\text{ cm}$ ,单条焊缝有效宽度不小于 $1\text{ cm}$ 。洞内空气潮湿、场地狭小、基面不平整,难以保证焊缝质量。按照洞室内轮廓周长和一环衬砌施工长度,在洞外平整场地将单幅防水板焊接成整块,可完全避免在现场焊接纵向接缝并尽可能地减少环向焊接。若需现场焊接,先用

砂布打磨干净防水板搭接宽度范围的水泥浆等杂物,防水板与喷层之间垫上一长条状的平整木板,土工膜焊接机在木板上边走边焊,并用手摁压粘紧。

对于局部破损处,用热风枪将小块防水板覆盖在破损处,进行粘补,补丁防水板尺寸不小于 $20\text{ cm}\times 20\text{ cm}$ 。

#### 3.1.4 防水板的保护与检查

本隧二次衬砌采用钢筋混凝土,钢筋焊接的高温、火星常常将防水板烤焦、烧穿。钢筋尽量按所需的长度,在洞外焊成整根运入洞内安装,对于不可避免的现场焊接,用2块木板、2层石棉纤维布叠成隔热垫板,垫在钢筋接头与防水板之间,基本上可避免防水板被烧穿、烤焦的现象。

鉴于防水板有一点被击破则全盘崩溃,因此,除了不断改进、优化施工方法,精心组织施工,还要建立严格的质量检查、监控制度。施工中,要求施工员、质检员跟班作业,及时纠正不规范操作,修补施工缺陷。防水板施工要严格采用全面检查,每一点、每一处均进行地毯式搜索,尽可能地将质量缺陷控制在最低的限度内。

### 3.2 排水盲管及膨胀止水条安装施工

排水盲管施工,要加强接头的连接与防护,以免脱落、漏浆。出水管口必须用无纺布包扎封口,混凝土浇筑后及时凿出管口。

膨胀止水条采用嵌槽法安装,可增大渗水路径,加强止水效果。浇筑混凝土时,在施工缝表面,沿止水条位置安放 $3\text{ cm}\times 4\text{ cm}$ 的木条,拆模时起出木条形成凹槽,将止水条嵌入槽内,并用水泥钉加密固定,以防脱落。对于浇混凝土之间已吸水发胀的止水条,应剔除重新安设。

### 3.3 中隔墙顶防水板铺设

双连拱隧道,左、右隧拱顶为地下水的分水岭,左、右隧中线之间的地下水均汇集到中墙顶,水量多而该处防、排水条件较差,常常出现渗漏。

铺设防水板之前,要仔细清除墙顶杂物,尤其是各种小石块等尖锐物。

中隔墙内设有竖向排水管,既要保证排水畅通,又要保持防水层的整体性。桐油山隧道施工借鉴了房屋建筑地漏的处理办法。如图6所示,先将竖向排水管露出墙顶的部分齐根切平。铺上防水板,比照竖向排水管管口位置,在防水板上切割出相同尺寸的圆洞,然后将杯形漏斗焊在防水板底,漏斗下端插入竖向排水管即可,杯形漏斗仍用防水板焊接加工。

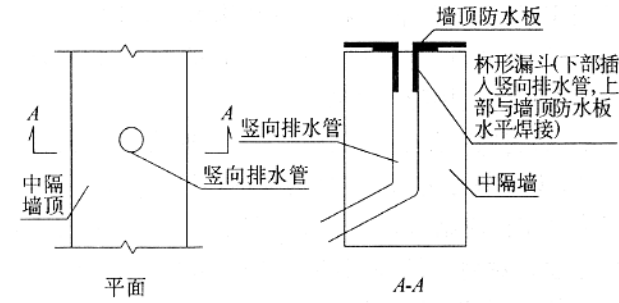


图 6 中隔墙防排水处理示意

为便于与拱部防水板连接,中隔墙顶防水板有一部分暴露在外,暴露部分易被破损,应采取相应的防护措施。先将暴露的防水板尽量向内折叠,减少暴露面积,然后覆盖竹跳板防护。

4 受力体系转换处理

连拱隧道不是两个单洞隧道的简单相加,施工中,存在由不对称受力结构向对称受力结构转化的过程,荷载和变形的逐步叠加,极易造成隧道结构开裂。从设计图上看,建成后的隧道是完全对称的受力结构,但连拱隧道左右两洞施工不对称,采取一侧超前施工,等该侧衬砌结构施作完毕才能施工另一侧(左、右同一断面并行施工,其跨度一般均大于 25 m,极易引发坍塌)。中隔墙左、右两侧均是临空面,通过正洞初期支护和二次衬砌传递过来的荷载,

对中隔墙产生水平侧向推力,在此水平推力的作用下,若中隔墙产生过大的位移变形,就会引起隧道结构的破坏,造成严重后果。尤其是浅埋偏压隧道,解决中隔墙水平推力的不平衡问题,是连拱隧道施工成败的关键。

桐油山隧道施工采取了如下措施:

中隔墙底设置竖向锚杆,增强墙体与基岩的整体性;

及时用混凝土回填密实中隔墙顶部与围岩间的空隙,并增设连接锚杆;

在中隔墙与中导洞岩壁之间增设钢柱横撑,或浆砌片石、混凝土隔墙等刚性支撑,直接提供平衡水平侧向推力所需的反力。

5 溶洞处理

桐油山隧道施工多次遇到溶洞,其中 K2+312 ~ +332 溶洞规模最大。纵向长达 20 m,横向贯穿整个隧道,向上估计延伸至地表,向下发育深度经补充钻探在 15 m 以上,溶洞内全部充填可塑状砂粘土,遇水极易软化。

采用“小导管超前支护、型钢钢架支撑、钢筋混凝土梁跨越、二衬封闭成环”的方案进行处理,见图 7 所示。

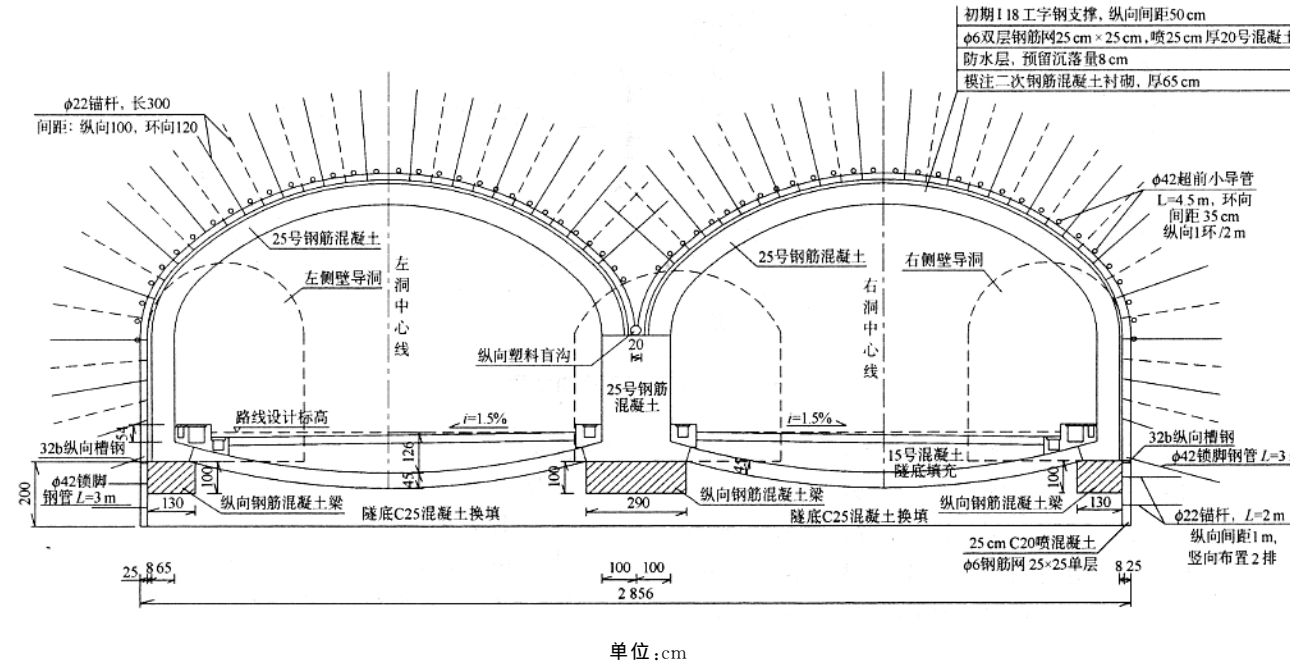


图 7 桐油山隧道粘土段溶洞处理

隧底采用C25片石混凝土换填,封闭隧底基坑,避免基底泥泞恶化,增强隧底对钢筋混凝土梁的抗力作用,改善钢筋混凝土梁的受力状态,换填深度为2 m。

左、右边墙及中隔墙基底沿隧道纵向各设置1根钢筋混凝土梁(简称边梁、中梁),整体跨越溶洞。钢筋混凝土梁的长度按照梁两端各与岩基搭接5 m的原则确定。梁端基岩承受很大的竖向压力。该处岩石受溶蚀影响,较为破碎,采用水平状 $\phi 22$ 锚杆和竖向 $\phi 42$ 钢管注浆加固。

施工按照“管超前、短进尺、支护紧跟、快封闭、勤量测”的原则,步步为营,稳打稳扎。每循环开挖进尺为1 m。粘土段采用人工修边、挖掘机挖核心的方式开挖。先沿开挖轮廓线开挖弧形导坑,保留核心土,以保证掌子面的稳定,待初期支护封闭后开挖核心土。

## 6 结语

(1)连拱隧道是一种较有发展前途的新型隧道结构,设计理论和施工技术有待于系统的整理和完善。但作为隧道工程,基本方法、指导思想是一致的。

工程实践中,应结合连拱隧道结构特点,地形、地质条件,认真分析,充分利用现有成熟的方法、技术,便能顺利完成连拱隧道建设。

(2)连拱隧道施工工序复杂,临时支护量大,成本高。只适宜于左、右线分离困难地段的短隧道。导洞临时支护应结合永久性支护设置。导洞断面较小,稳定性相对而言较高,临时支护可间断设置在软弱围岩段,不必连续,以降低成本。

(3)连拱隧道中隔墙部位极易渗漏水,主要是因为中隔墙顶易积水。同时,该处空间狭窄、操作困难,防水层易被破坏,导致防、排水施工质量难以达到设计要求。故拟定中导洞尺寸,应充分考虑中隔墙顶必要的操作空间。施工中要加强对已铺设防水层的防护。

(4)受小间距隧道的启发,可将连拱隧道整体式中隔墙拆分为:左隧边墙+中柱墙+右隧边墙,整座隧道结构则变成:独立左隧+中柱墙+独立右隧,如图8所示。笔者暂且称之为超小间距隧道。同样可达到节约用地的目的,但左、右隧防排水系统各自独立,排水畅通,可从根本上解决连拱隧道中隔墙渗漏的通病。

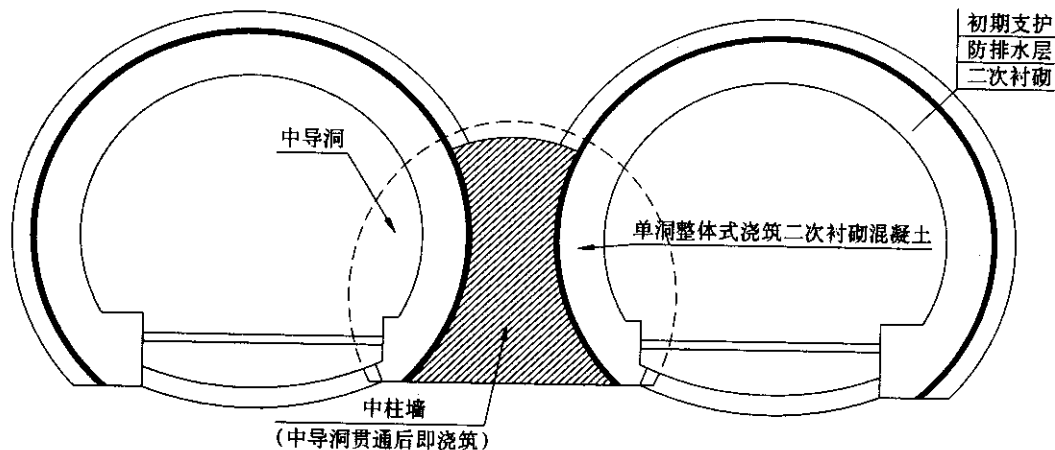


图8 超小间距隧道断面示意

(5)连拱隧道施工,围岩多次被扰动,应加强监控量测工作,及时反馈量测信息指导施工。

(6)隧底粘土充填溶洞处理,关键是要解决基底软弱、沉降大而不均的问题。采用梁、板、桥等结构,整体跨越溶洞,是最彻底、最可靠的解决方案。改良、固结隧底地层,只能作为跨越方案的一个辅助措施,粘土地层无论如何改良、固结,其性能总是无法与岩石地基相比。

## 参考文献:

- [1] 朱汉华,尚岳全. 公路隧道设计与施工新法[M]. 北京:人民交通出版社,2002.
- [2] 李志厚,刘庭金,朱合华. 某偏压连拱隧道地质灾害地震CT探测及病害处理[J]. 现代隧道技术,2003,40(4).
- [3] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京:人民交通出版社,2003.
- [4] 中国市政工程中南设计研究院. 柳州市南二环路桐油山隧道设计图[Z]. 2001.