

猫山公路隧道 工程技术

MAOSHAN GONGLU SUIDAO GONGCHENG JISHU



邓江 主编

人民交通出版社

猫山公路隧道工程技术

邓 江 主编

人民交通出版社

内 容 提 要

本书以猫山隧道为例,用十章的篇幅,详细地阐述了公路隧道施工技术的各个方面,如:支护设计,洞口、洞身的开挖施工,钻爆设计施工,超欠挖控制,喷锚支护施工,辅助施工措施,在施工中校核围岩类别,施工监控量测,典型类比分析法的应用,塌方处理、防排水施工、隧道施工监理等。为方便读者,还在书的附录中添加了新奥法、挪威法、典型类比分析法等资料。

图书在版编目(CIP)数据

猫山公路隧道工程技术 / 邓江主编. —北京: 人民交通出版社, 2002.2
ISBN 7-114-04195-0

I. 猫... II. 邓... III. 公路隧道—隧道工程—工程施工—广东省 IV. U459.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 010529 号

MAOSHAN GONGLU SUIDAO GONGCHENG JISHU

猫山公路隧道工程技术

邓 江 主编

正文设计: 彭小秋 责任校对: 尹 静 责任印制: 杨柏力

人民交通出版社出版发行

(100013 北京和平里东街 10 号 010 64216602)

各地新华书店经销

北京鑫正大印刷有限公司印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 13.25 插页: 1 字数: 310 千

2002 年 8 月 第 1 版

2002 年 8 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 0001—1500 册 定价: 28.00 元

ISBN 7-114-04195-0

U · 03071

序 一

我国自改革开放以来,随着国民经济的大发展,公路建设也蓬勃发展起来,特别是高等级公路建设更是日新月异。由于高等级公路线形标准高,当其遇到山岭后,基本是采用开洞以隧道形式穿过,这样既保证了高等级公路线形要求,又避免了开山劈岭破坏生态,导致水土流失,而且还缩短了路线长度,提高营运效益和行车安全,因此,公路隧道就成为高速公路不可缺少的组成部分,公路隧道的建设也就随着高速公路的发展而发展起来,据不完全统计,到 1997 年我国已建成公路隧道 395 座,全长约 93km,仅广东省已建成或正建设的公路隧道就有 51 座,全长达 46km。由于我国地幅辽阔、多山,特别是西部更是高山林立,随着西部大开发战略的实施,高速公路必向西部延伸,公路隧道的建设将是任重而道远。

我国公路隧道建设起步较晚,发展较快,其队伍也较新,虽然已做出了很大成绩,完成了不少工程,取得了不少经验,但系统地总结经验不够,为了适应加入 WTO 后国内外激烈竞争的新形势,我国公路隧道设计施工的总体水平还有待进一步的提高。首先,在工程的管理上,由于公路隧道工程多是高速公路的一个组成部分,工程规模相对较小,公路隧道的建设一般由公路建设部门统一组织管理,不像铁路那样有隧道工程局、隧道专业设计院所和隧道专业施工队伍,因此在个别地方就出现了以道路、桥梁等地面工程的办法去管理隧道工程的现象。须知,隧道工程由于受千变万化的地质条件的制约,给设计、施工带来了很大的不可避免的不确定性。由于设计不能完全确定,施工方法、支护结构也都不能在施工前完全确定,因此,工程的概预算变化幅度也较大,根据资料介绍,我国目前施工的公路隧道工程,决算造价比工程投标价一般超过 50% ~ 60%,最多的达 100%,这里有客观原因也有主观原因,但作为隧道工程的建设部门,应了解这一特点,加强对工程的组织管理,把投资变化控制在最小范围内。

由于公路隧道工程受多变的地质条件影响,施工技术复杂,施工工序繁多,劳动条件差,如遇到地下富水、岩溶、断层破碎带、高地应力、岩爆、瓦斯、偏压浅埋、膨胀土等不良地质和地形条件,施工难度大,安全性差,而且公路隧道开挖跨度大,单洞三车道隧道开挖跨度达 15m,形状扁平,防排水要求高,公路隧道目前绝大多数采用钻爆法施工,开挖爆破对围岩扰动较大,容易出现塌方,这些给公路隧道的设计、施工、管理提出了更高要求,目前,公路隧道施工队伍的技术水平发展还很不平衡,有的对新奥法原理缺乏深入学习、认识,研究和应用,如对称之为新奥法三大技术措施“光面爆破技术、喷锚支护技术、围岩变形量测技术”缺乏切实的掌握,致使超挖、欠挖现象较多,喷射混凝土回弹量大,浪费大,因而隧道的造价偏高。特别是对围岩变形量测不重视,不少工程基本未进行,有的虽量测了几个断面,但目的性不明确,不能直接为安全施工、修正设计服务,而且对量测的数据未进行回归分析、整理、利用。为进一步提高公路隧道的设计、施工、管理水平,应组织对过去设计、施工经验进行总结,建立和健全公路隧道专业化设计队伍,大力推行信息化设计方法,加强施工前地质调查工作,提高隧道预设计质量,加强公路隧道工程的科技投入及科学研究,加强公路隧道施工机械、监测仪器和设备的研究,包括钢筋混凝土支护及喷射机械手、隧道施工监测手段自动化和测量、监控系统的研究和应用。

广东省西部沿海高速公路新会段猫山隧道工程,地质较为复杂,又是跨度较大的连拱断

面,施工难度较大,施工单位在争创“双优”工程(“鲁班奖”和国家优质工程奖)的推动下,克服了重重困难,提前完成了任务,工程质量优良。他们在施工中比较重视对新奥法原理的学习,积极创造条件,贯彻落实,为了保证工程质量和施工安全,经反复探索、试验,采用光面爆破技术,较好地解决了大跨度连拱隧道的钻爆施工技术和安全问题;为了保证施工安全,在施工过程中坚持进行围岩监测,以获得大量的量测信息,指导施工;为搞好施工管理,他们与业主、设计、监理四位一体,深入现场,掌握第一手资料,及时处理设计变更,校核评定围岩类别,较好地解决了工程计量计价等问题。此外,他们还引进了经技术鉴定属于国际领先地位的典型类比分析法和围岩稳定分析预测程序,运用围岩变形量测获得的信息,进行信息化设计,把公路隧道设计、施工由经验类比的定性水平提高到了理论——经验——信息资料与计算技术相结合的定量综合集成水平。本书通过对猫山隧道的设计、施工的一些做法的介绍,使读者了解当今中国公路隧道应用新奥法原理进行设计、施工的特点、做法和基本要求,希望与有关单位互相交流不断总结经验,提高我国公路隧道的建设水平。

编 者

2001 年 12 月

序 二

通读广东省冠粤路桥有限公司组织编写的《猫山公路隧道工程技术》之后甚感振奋,究其原因:

一、在当前情况下,能以开拓求实精神进行工程建设,并且组织撰写此类科普读物,做到内容丰富、参考价值大,近年已很少见;

二、面临西部大开发、入世的历史机遇和挑战,我国隧道施工、设计单位,惟有以新奥法精神切实加强队伍建设,改革管理体制,引进先进技术,开拓创新,方能生存和发展;此书正好提供了这样一个典型实例。因此,本书的出版是适应时势、符合行业发展需要的产物。通过对书稿认真学习,感到有以下值得注意的五个特点:

(一)四位一体,提高施工水平。

掌握与应用新奥法,亟需提高隧道工程管理水平。在猫山隧道工程地质条件复杂、大跨连拱、施工难度较大的背景下,为搞好施工管理,业主、施工、监理、设计四位一体,深入现场,选取合理的施工方法与适用的先进技术,校核评定围岩类别,及时处理设计变更,确保工程质量,实现了工程的优质、高效、低耗,保障了各方的合理权益。这个经验具有一定的借鉴、推广价值;

(二)引进先进技术,建设专业化的施工队伍,不断提高确保工程安全和经济的技术水平。

首先,在当前我国推广应用新奥法中公认的三大技术措施——光爆、喷锚、变形量测的认真掌握和应用上,此书的经验切实可行,可供参考。其中实例甚多,不拟重复。

1998年已纳入我国《防护工程设计规范》的先进技术——典型类比分析法及其应用形式BMP程序,国内各行业中已有百余个单位引进和使用,其中不乏为确保工程的安全和经济作出贡献的实例。猫山隧道工程就是其中的典型之一。猫山公路隧道工程应用典型类比分析法,对隧道工程技术作出的有价值的贡献,有以下三点:

1.在隧道工程开挖前,应用BMP程序对围岩的变形特性与破坏形态作出定量分析预测,用以指导施工,这是一项领先世界的技术。虽然此前十余年来,国内一些单位和工程已经不同程度地有所应用,猫山隧道工程突出贡献在于:

①全面掌握和应用。在施工前对各类围岩、各种埋深、各种侧压系数条件下,全面作出分析预测,列出表格,总结规律,作到有预见地指导施工;

②认真总结,公开发表,使这项具有中国特色的先进技术得以进一步普及应用,为提高我国隧道工程技术水平做出贡献。在这方面,猫山隧道应属首次实现;

2.在认真进行围岩变形量测的基础上,从取得实测收敛值的第一天起,BMP程序就能及时进行位移反分析,及早掌握初始地应力测压系数的近似值,修正设计;并在围岩基本稳定之日,立即得出围岩的等效弹性模量,以便进行更准确的围岩稳定分析预测。这是又一项领先世界的技术。猫山隧道工程不仅是国内已经掌握和应用的个别单位和工程之一,而且工程应用确有实效,并加以总结公开发表,使这项有中国特色的先进技术得以惠及同行。在这方面,猫山隧道又是首次实现;

3.在软弱围岩隧道施工中,断面开挖后,特别是在预设计的初期支护施作完成的24小时

之内,立即对围岩稳定性与支护效果作出定量判别,查明支护保守或不足,如有险情及时发出预报,有效处理,确保施工安全与经济。迄今在国内外这都是隧道工程一大技术难题,现场工程师对此均深有体会。典型类比分析法的一种应用形式——变形速率比值判别法,在国内外首次初步解决了这一难题,但是尚未得到全面的工程验证的机会。猫山隧道工程施工单位学习认真,在工程实践中应用变形速率比值判别法,实现施工中即时对围岩稳定性与支护效果作出定量判别,并对确保工程的安全和经济作出贡献,切实地、相当全面地进行了正反两方面的验证(只有像猫山隧道这样地质条件复杂、工程艰险,一再出现险情的工程,才有条件进行比较全面的验证)。一系列工程实例在此书中已有明确记载,实属国际领先。猫山隧道工程当之无愧。

坚持不懈地在工程实践中建设专业化队伍,引进先进技术,依靠人才优势,确保工程安全和经济,为在新形势下竞争中生存和发展提供了有力保证。

(三)此书不仅总结了猫山隧道的工程经验,而且旁征博引,论证比较充分。此书对于提高我国公路隧道施工的技术水平,对于地下工程设计、监理单位、大中院校的科技人员,以及管理部门均有参考价值。从本行业的角度看,可以起到科普读物的作用,当有良好的社会效益。

(四)此书从隧道工程实际出发,提出了本行业组织管理上的两个关键问题。

1.隧道工程地质条件复杂多变,围岩详细状况只能是“挖开来看”,所以隧道支护设计不能像地面工程那样,可以一步到位,按图施工。隧道工程施工前的设计只能是预设计,在施工过程中还必须随着围岩类别的变化,不断地修改完善。因此,在施工过程中,设计单位应派有关人员深入现场,与施工、监理、业主代表相结合,这在行业管理体制上似应予以明确。从国外和国内推广应用新奥法比较早的部门的情况看,大体早已如此。因此,我国公路隧道工程设计应转变观念,与国际接轨。

2.新奥法是现代隧道工程先进技术和管理方法的标志之一。贯彻新奥法不但是猫山隧道争创优质工程的必须,而且是队伍自身建设的必须。根据当前隧道工程建筑市场的形势,特别在我国加入WTO之后,隧道工程施工队伍如不能在实际工程中全面提高队伍的现代施工管理和施工技术水平,将失去其竞争条件和生存能力。

(五)猫山隧道施工成果累累,施工监理功不可没。此书体现了监理人员实事求是精神和“严格管理,热情服务”的情操,坚持说实话,解决实际问题。此书中监理人员提出的看法确有其真知灼见:施工前的预设计只能对施工起一个轮廓控制作用。科学的设计方案只有通过施工对围岩揭露后,准确的确定围岩类别,调整设计参数,不断地进行设计变更,并加以实施,才能实现设计最佳化,业主和施工单位的共同利益均得到保证。因此,在隧道的监理过程中不能简单地按“设计图纸要求”进行监理,也不能简单地套用路桥工程监理的一般做法。

综上所述,我个人认为,该书是一个高水平的、有典型性的工程实录。该书稿的撰写和猫山隧道工程一样,倾注了建设者的建设责任心、热情和辛劳。这里所谓典型性,指的是具有符合振兴中华时代要求的先进性,具有可供其它隧道工程与广大技术人员参考应用的实践性。猫山隧道工程中施工、监理、设计、业主四位一体,对于广东省西部沿海高速公路新会段全线争创“双优”工程,作出了重要贡献,应给予肯定。

李立峰

2001年10月7日

前 言

猫山隧道是广东省西部沿海高速公路新会段工程的一个重要组成部分,由于受崖门大桥桥位的影响,隧道穿越地质条件复杂的猫山两峰相交位置,且隧道为大跨度连拱结构,设计、施工都有一定的难度。为确保工程施工的顺利进行,设计、施工、业主、监理单位紧密配合,采用了先进的施工技术和科学的管理方法,较好地攻克了各施工难点,取得了较为满意的效果。为了总结复杂地质条件下大跨度连拱隧道的施工经验,以达到与广大同行交流的目的,我们特编写了《猫山公路隧道工程技术》,旨在起抛砖引玉作用。

本书由具有丰富的隧道工程技术经验的专家及施工一线的工程技术人员编写而成,内容丰富,对隧道工程技术人员具有一定的参考价值。由于水平有限,不妥之处,敬请指正。

由于猫山隧道所采用的规范是我国《公路隧道设计规范》(JTJ 026—90)和《公路隧道施工技术规范》(JTJ 042—94),故本书所有的围岩类别仍是老标准,与现行的国标《工程岩体分级标准》(GB 50218—94)和《铁路隧道设计规范》(TB 10003—99)不同,请读者留意。

编 者

2001年11月

主要名词术语

新奥法(NATM):即奥地利隧道工程建设新方法的简称。该法 1948 年提出后,世界各地普遍运用,已成为现代隧道工程新技术标志之一。其基本概念、设计、施工原则要点参见本书附录一。

挪威隧道工法(NMT):简称挪威法,是 20 世纪 90 年代在西北欧隧道工程中发展起来的一种新方法,该法根据隧道质量指标 Q 值进行围岩分类并选定支护。其内容要点参见本书附录二。

工程类比法:对具体地下工程围岩的稳定性特征进行分析,确定围岩所属类型,然后根据同类条件下支护设计的一些经验数据来确定工程对象支护参数的方法。

典型类比分析法:以典型工程实测信息对岩石力学理论分析结果进行修正为特点,是新奥法隧道工程支护设计的一种新技术,用于隧道围岩变形、破坏特性与支护效果的快速分析及超前预报,应用形式为 BMP 电算程序。该法已在我国国防、水利、水电等部门地下工程广泛使用,参见本书附录三。

岩石:是由不同矿物,经由各种地质作用而构成。岩石的物性有强度、变形、容重等。

岩体:是地质体的一部分,其内部由于成岩、构造应力与风化等原因形成许多结构面,有块状、镶嵌、碎裂、层状、散体等结构形式。

围岩:是隧道开挖所影响的而且对隧道稳定性有影响的那一部分岩(土)体。

围岩分类:是针对隧道开挖、支护、编制定额等的需要,而把与之相适应的地质条件进行分级,来评价工程岩体的稳定程度,是隧道工程设计施工的基础条件之一。正确的围岩分级是隧道工程首要的技术课题。

隧道长度:指单洞进出口洞门端墙面之间距,标注为:××米/左(右)洞。如隧道为双洞时,则此隧道长度应标为 $L = L_{\text{左}} + L_{\text{右}}$ 。

隧道计量单位:一般称“座”。

隧道宽度:指单洞的建筑限界净宽,如山岭区高速公路隧道单洞双车道宽度为 7.5m。

隧道建筑限界:包括行车道、两侧路缘带、余宽、检修道的总宽度。

洞口及洞门:指隧道两端的外露部分,也是联系洞内衬砌与洞口外路堑的支护结构。

明洞:洞顶覆盖层薄,难以用钻爆法修建的隧道地段,一般采用明挖法构筑。

浅埋段隧道:覆盖层不足毛洞跨径 2 倍的隧道区段。

辅助坑道:根据施工、通风、排水、出渣及增加工作面的需要设置的横洞、斜井、竖井或平行导坑的总称。

出渣:将开挖的土石方运出隧洞称出渣。

辅助施工方法:在浅埋、严重偏压、断层岩溶、流砂地段、砂土层、砂卵(砾)石层等自稳性差的软弱破碎地层以及大面积淋水、涌水地段施工时,对地层采取预加固超前的支护如注浆超前锚杆、超前小钢管、预注浆管棚等等施工方法的总称。

复合衬砌:是以新奥法为基础的一种新型支护结构。它是以喷(混凝土)锚(杆)作为初期

支护,以模筑混凝土为二次衬砌(即永久支护)的一种组合形式。

钻爆法开挖:即以机械钻孔装炸药爆破开挖隧洞的方法。此法为我国目前公路隧道广为采用的一种开挖施工方法。

隧道掘进机(TBM):集掘进、出渣、支护、作业照明、排水、除尘、通风为一体的隧道全断面施工机械,一次可掘进直径4~6m岩石隧洞。这种设备构造复杂,价钱高昂,工业发达国家已较多采用。目前我国只有在少数超长隧道(如山西引黄工程水工隧洞长43.5km,秦岭隧洞长18.4km)中使用。

光面爆破:也叫修边爆破,是一种控制岩体开挖轮廓的爆破技术,是通过一系列措施对隧道周边部位实行正确的钻孔和爆破,并使周边眼最后起爆的爆破方法。爆破后,设计轮廓线内的岩石适度破碎,而围岩稳定性得以保持,适用范围广泛,在软岩中浅孔爆破中效益明显。

预裂爆破:是在开挖轮廓上钻互相平行的比较密集的炮眼,装药后使之比其他爆破眼先起爆,使爆破后各爆眼间形成相互贯通的裂隙,与原岩体分割开来,然后再起爆其他炮眼。因轮廓线上裂缝已形成,当其他炮眼起爆时,不会引起原岩体的破坏,而形成光滑的平整壁面。预裂爆破可起较大的隔振作用,一般适用于硬岩深孔爆破。在软弱围岩中也可得到较好的爆破效果。

隧道围岩变形量测:在隧道开挖过程中,对围岩—支护系统的变形过程所作的量测,叫作隧道围岩变形量测。它是新奥法现场量测的首要内容,是信息化设计的必须条件,是确认或修改支护设计参数和判别围岩稳定的依据,被称之为新奥法的核心,是隧道工程的耳目和决策依据。

隧道围岩变形量测通常指隧道周边两点间的水平收敛量测、铅垂收敛量测和拱顶下沉量测。它是围岩稳定状态的可观测性与可控性的表现,并具有简易性、可行性与可靠性。

目 录

第一章 总述	1
一、猫山隧道工程概况	1
二、工程地质条件	1
三、施工前设计情况	1
四、施工概况	1
五、预设计执行情况	3
六、主要指标完成情况	3
七、在施工中贯彻新奥法的做法	5
八、从猫山隧道工程实践看公路隧道预设计需改进的几个问题	6
第二章 猫山隧道支护结构设计	9
第一节 隧道支护设计思想与方法简述	9
一、荷载——结构设计模式	9
二、信息化设计模式	9
三、连续介质模型——岩石力学解析法和数值法	9
四、典型类比分析法	9
第二节 猫山隧道的支护设计	10
一、运用工程类比法选定支护参数	10
二、喷锚支护参数的计算	12
三、二次模筑衬砌验算(按弹塑性理论)	21
第三节 隧道支护(预)设计中围岩变形与破坏分析预测	22
一、工程数据的准备	22
二、单洞洞周变形预测分析结果	25
三、单洞洞周围岩应力预测分析	26
四、双洞洞周围岩变形预测分析与围岩应力分析	26
第三章 洞口施工	27
一、概述	27
二、东洞口仰坡的加固	27
三、明暗洞衔接部位的开挖	30
第四章 猫山隧道开挖施工	31
第一节 开挖方法	31
一、公路山岭隧道常用开挖方法	31
二、猫山隧道开挖方案的探讨与选定	35
三、软岩开挖	38
四、硬岩开挖	40

五、体会·····	40
第二节 钻爆设计与施工·····	41
一、概述·····	41
二、光面爆破·····	47
三、实例介绍·····	51
四、爆破效果·····	59
第三节 猫山隧道的超欠挖控制·····	59
一、超欠挖的概念和允许值·····	59
二、造成超欠挖的主要因素·····	60
三、猫山隧道超欠挖的控制措施·····	63
四、猫山隧道超欠挖的处理·····	65
五、体会·····	66
第五章 辅助施工方法与坍方处理·····	68
第一节 辅助施工方法·····	68
一、概述·····	68
二、猫山隧道软岩地段采用的辅助施工措施·····	77
第二节 塌方处理·····	85
一、概述·····	85
二、原因分析·····	86
三、治理方案的选择与确定·····	86
四、塌洞施工处理·····	89
五、效果·····	90
六、几点体会·····	91
第六章 在施工中核实隧道围岩类别的方法·····	93
一、概述·····	93
二、围岩分级与标准·····	93
三、施工前调查与判定围岩类别的方法·····	93
四、施工中的地质调查·····	96
五、猫山隧道在施工中核实围岩类别的方法·····	98
第七章 复合衬砌施工·····	103
第一节 锚喷支护·····	103
一、概述·····	103
二、锚杆施工·····	105
三、喷射混凝土施工·····	108
四、喷射混凝土质量监控·····	112
五、钢架·····	114
六、经验与体会·····	118
第二节 二次模筑混凝土衬砌施工·····	119
一、施作时机·····	119
二、灌注混凝土前的准备工作·····	119

三、模板台车	119
四、混凝土浇筑作业	120
五、二次衬砌防排水	120
六、关于脱模时间	120
七、二次衬砌施工质量的控制	121
第八章 施工监控量测与围岩位移反分析	122
第一节 施工监控量测	122
一、监控量测在隧道施工中的重要作用	122
二、监控量测的目的、方法和要求	122
三、量测仪器及其自由变形对量测精度的影响	124
第二节 监控量测数据的整理与应用	129
一、猫山隧道现场量测项目	129
二、不同类别围岩量测断面及测点的布置、量测频率	130
三、量测数据的记录	131
四、量测数据的回归处理与围岩稳定性分析	131
五、运用量测结果指导施工	147
六、初步效果	147
第三节 应用典型类比分析法 BMP 程序对围岩进行位移反分析	148
一、运用位移反分析对猫山隧道围岩类别进行复核	148
二、猫山隧道围岩变形量测时间序列的位移反分析	149
三、对典型类比分析法 BMP 程序及位移反分析的几点认识	149
第四节 围岩稳定性的变形速率比值判别法在猫山隧道施工中的应用	150
一、变形速率比值判别法简介	150
二、在猫山隧道施工中运用变形速率比值判别法的情况	153
三、猫山隧道大塌方量测资料分析	155
四、结论	156
第九章 防排水系统	157
第一节 隧道防排水	157
一、水对隧道工程衬砌结构的影响	157
二、公路隧道防水等级划分	157
三、隧道工程防排水原则	158
四、隧道工程防排水的基本形式	158
五、混凝土抗侵蚀措施	159
第二节 猫山隧道防排水概况及措施	159
一、隧道内外总的防排水措施	159
二、洞口防排水	161
三、中隔墙顶的防排水措施	161
四、初期支护的防水	162
五、初期支护和二次衬砌之间防排水	163
六、二次衬砌的防水	166

七、防排水系统施工质量控制	167
第十章 隧道施工监理	169
一、施工准备阶段的监理	169
二、工程质量监理	170
三、工程进度监理	173
四、工程费用监理	173
五、合同管理	174
六、几点体会	175
附录一 新奥法的特点及理论基础	176
附录二 挪威法	186
附录三 典型类比分析法	189
参考文献	194

第一章 总 述

一、猫山隧道工程概况

猫山隧道位于广东省新会市崖南镇,潭江入海口——崖门口,是广东省西部沿海高速公路新会段的重要构造物。由于隧道紧连崖门大桥西桥头,受大桥宽度的影响,设计为双洞双向四车道曲墙连拱隧道。隧道按高速公路平原微丘标准设计,两隧道轴线间距 13m,连拱跨度 26 m,中隔墙最小厚度 1.9 m,隧道单洞长 411m。隧道内轮廓为曲墙半圆拱,拱半径 5.75m、曲墙半径 7.59m,两侧设检修道。隧道单洞净宽 11.32m,即 $2 \times 1.16\text{m} + 2 \times 0.75 + 7.5\text{m}$,净高 7.27m,净空面积 68.3m^2 ,隧道路面横坡 2%、纵坡 -2%。

猫山隧道由广东省西部沿海高速公路新会段有限公司投资建设,广东省公路勘察规划设计院与交通部重庆研究所设计,广东冠粤路桥有限公司施工总承包,广东虎门大桥咨询有限公司监理,中铁第十四工程局第四工程处施工。原合同工期 428 天,1998 年 12 月 9 日开工,主体工程于 2000 年 6 月 29 日竣工,历时 450 天。

二、工程地质条件

该隧道所处地段为第四系地层,含花岗岩残积、坡积碎块石砂、砾质亚粘土,覆盖厚度 0 ~ 0.8m。基岩为燕山期中、粗粒花岗岩,呈肉红色、灰白色,岩体巨厚、裂隙发育,多为巨块状镶嵌结构和砌体结构。山体表层风化程度较高,其厚度为 8.2m。

经地质勘探判断,隧道穿山体地段不存在构造断裂。但是岩体中裂隙普遍发育,有一组走向为 $60^\circ \sim 70^\circ \text{EW}$ 的剪切裂隙,裂面近于直立,连续性较强,且与隧道轴线近乎平行。隧道进口位于分水垭口东侧坡地,地面坡度较陡,场地狭窄,洞口面向崖门大桥。洞口右侧为分水垭口冲沟,左侧为低山主体,边坡稳定,无不良地质现象。隧道出口位于垭口西侧冲沟部位。冲沟两侧山坡较稳定,无不良地质现象。但在隧道开挖施工中,出现 4 条方向为 $\text{NE } 60^\circ \sim 70^\circ$, $\angle 70^\circ \sim 90^\circ$,宽 1 ~ 2m 的较大断层,洞身为 II、III、IV 类围岩(按《公路隧道设计规范》(JTJ 026—90)规定的围岩分类标准)。

本段地下水为花岗岩风化裂隙水,受大气降水补给,流量少,随季节变化大。地下水类型为低矿化度(31.9mg/L),侵蚀性 $\text{CO}_2 = 2.54\text{mg/L}$,不具侵蚀性。

三、施工前设计情况

结构设计:采用复合式衬砌结构,初期支护以喷锚钢筋网为主要支护手段。II、III 类围岩地段采用格栅钢架作为加强措施,洞口 II 类围岩地段采用双排超前小导管作超前支护。支护参数由于同类工程(连拱)实例不多,考虑到中隔墙的作用,从安全角度出发按三车道隧道类比。II、III 类围岩二次衬砌采用 C25 钢筋混凝土,衬砌厚度为 60cm,III、IV 类围岩二次衬砌采用素混凝土(局部设构造钢筋),衬砌厚度分别为 50cm、40cm。II、III 类围岩均设有仰拱,混凝土厚度分别为 60cm 和 50cm。

四、施 工 概 况

(一)总体方案

掘进采取进口(东洞口)和出口同时推进方案,由于隧道纵断面从东往西设有 2% 的降坡,东洞口施工段采用集水井强制排水,洞室开挖采用台阶法。

(二)隧道主体基本施工方法

- 1. 洞身采用三导坑开挖,化大断面为小断面,以控制和减小围岩的松动范围。
- 2. 中隔墙导坑先行,并做好导坑的临时支护。
- 3. 从中导坑中间向两端洞口浇筑中隔墙混凝土,并将中隔墙墙顶与导坑拱顶回填紧密,控制围岩松动高度,以减小围岩荷载。
- 4. 左右洞侧壁导坑开挖,紧跟掌子面及时做好初期支护和临时支撑。
- 5. 边墙二次衬砌在侧导坑开挖过程中施作,其余的在侧导坑全部贯通以后进行。
- 6. 主洞开挖之前先施作明洞,保证边仰坡稳定。明洞按仰拱—中隔墙—拱墙衬砌顺序施工。
- 7. 左右隧洞开挖错开距离不小于 50m。
- 8. 洞身二次衬砌按先墙后拱的顺序施工。

(三)隧道主体工程施工主要程序(见图 1-1)

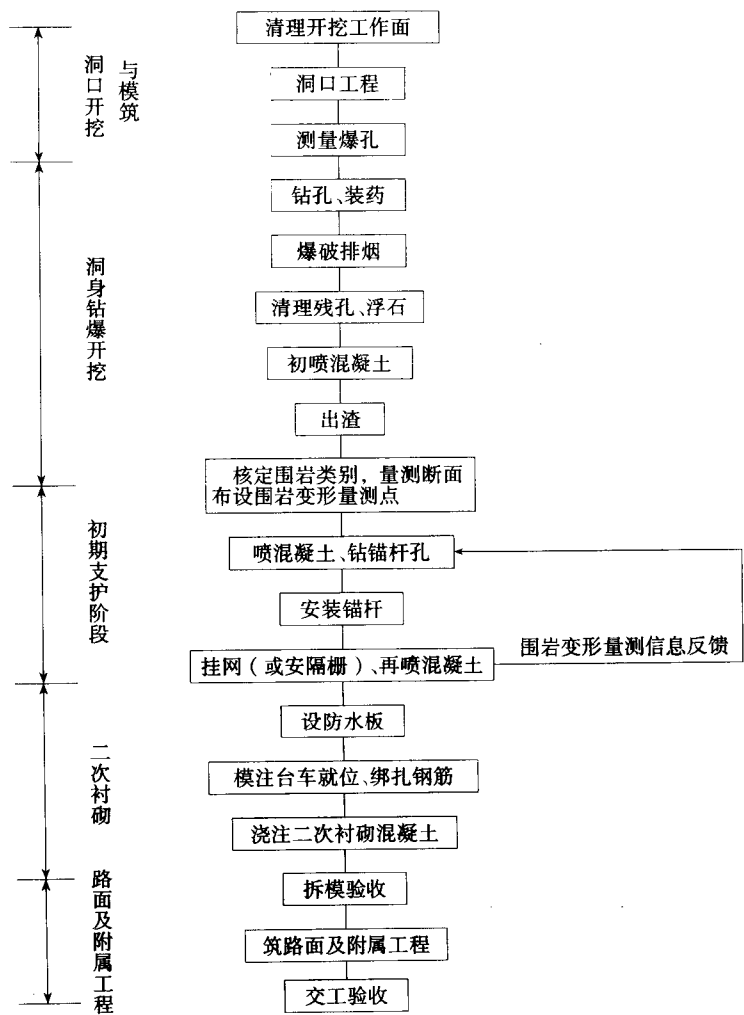


图 1-1 施工程序图

五、预设计执行情况

(一)对围岩类别的修正

1998年10月,业主根据设计单位提供的猫山隧道“两阶段施工图设计”文件,通过招标,确定施工单位。猫山隧道主体工程及附属工程初期支护基本是按预设计图纸进行施工的,但围岩类别与实际相差较大,致使在施工过程中作了大量变更。预设计图的IV、V类围岩总长度为782m(以单洞计),实际IV、V类围岩只有283m(以单洞计),相差499m;预设计中没有II、III类围岩,而实际有499m,占整座隧道围岩的63.8%,围岩变化情况见表6-12。

(二)支护结构的变更

由于围岩类别的变更,隧道支护结构也相应的作了变更,各类围岩每延米支护结构工程量如表1-1。

猫山隧道各类围岩每延米支护结构数量

表 1-1

围岩	喷射混凝土 (m ³)	锚 杆		钢筋网 φ6 (kg)	钢格 栅拱架 (kg)	仰拱填充 混凝土 (m ³)	模筑混凝土 (m ³)	注浆小导管 (t)
		根 数	重量 (kg)					
V	3.2	22(长 3.0m)	196	13.5			21.94	
IV	4.0	32(长 3.0m)	286	13.7			21.94	
III	8.61	30(长 3.5m)	313	43.0	(间距 1m)	19.32	45.62	
II	16.65	55(长 3.5m)	573	43.9	(间距 0.75m)	19.32	47.51	0.696

由于围岩的变化,工程量及造价相应也有较大的变化:

(1)工程材料变更:锚杆数量增加 1.39 倍;

钢筋数量增加 3.2 倍;

混凝土数量增加 2.75 倍。

(2)每延米支护结构造价,按可比价格计算,每延米 II、III 类围岩支护工程造价类比 IV、V 类围岩增加约 7.35 倍,可见围岩类别的变动对工程造价影响是很大的。

六、主要指标完成情况

(一)隧洞施工进度

1.隧洞月平均 41.16 双车道米。

2.隧洞开挖:折合全断面开挖,单口月平均进尺 30.08m,最高为 68.17m。

3.隧道衬砌:单口月平均灌注 22.34m(2 台模板台车),使用一台模板台车单口最高月浇筑 60m。

4.隧道衬砌采用一台模板台车,拱部每循环脱模周期平均为 7d,最短周期为 3d。

5.全隧道最高月成洞 104.7 双车道米(4 台模板台车)。

6.全隧道最高年成洞 558 双车道米(4 台模板台车)。

(二)完成主要工程量(见表 1-2)