

高速公路黄土隧道施工 过程变形控制与实践

孙佃海 著

北京交通大学出版社

高速公路黄土隧道施工过程 变形控制与实践

孙佃海 著

北京交通大学出版社

· 北京 ·

内 容 简 介

本书是对高速公路黄土隧道施工进行研究的著作。全书共7章,主要以高速公路为对象,对其黄土隧道施工进行了全面的分析与研究,主要内容有:高速公路黄土隧道施工方法;高速公路黄土隧道施工过程变形机理;高速公路黄土隧道施工过程监控量测设计;高速公路黄土隧道施工过程质量管理;高速公路黄土隧道施工过程安全管理;高速公路黄土隧道施工过程变形管控策略及高速公路黄土隧道施工过程变形管控实践。

本书强调理论和工程实践的结合,可供从事高速公路施工、管理,黄土隧道施工、管理,以及教学科研人员参考使用。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

高速公路黄土隧道施工过程变形控制与实践/孙佃海著. —北京:北京交通大学出版社, 2012. 7

ISBN 978 - 7 - 5121 - 1138 - 7

I. ①高… II. ①孙… III. ①高速公路 - 土质隧道 - 隧道施工 IV. ①U459. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2012) 第 197032 号

责任编辑:谭文芳 特邀编辑:尹 红

出版发行:北京交通大学出版社 邮编:100044 电话:010 - 51686414

印刷者:环球印刷(北京)有限公司

经 销:全国新华书店

开 本:185 × 260 印张:14. 75 字数:374 千字

版 次:2012 年 7 月第 1 版 2012 年 7 月第 1 次印刷

书 号:ISBN 978 - 7 - 5121 - 1138 - 7/U · 109

定 价:39. 00 元

本书如有质量问题,请向北京交通大学出版社质监组反映。对您的意见和批评,我们表示欢迎和感谢。

投诉电话:010 - 51686043, 51686008; 传真:010 - 62225406; E-mail: press@bjtu. edu. cn。

前 言

高速公路被誉为一个国家走向现代化的桥梁,是发展现代交通业的必经之路,而中国在这条路上,则迈出了一个个非同寻常、令人赞叹的脚步。随着国家高速公路网的规划完成,各地区高等级公路迅猛发展,越来越多的高速公路隧道工程相继施工或投入运营,尤其以西部地区高速公路黄土隧道为典型。我国是世界上黄土分布最广的国家,黄土高原为黄土主要分布区,分布面积约 63 万 km^2 , 约占全国陆地面积的 6.6%, 因此对黄土隧道工程的研究就显得尤其重要了。本书主要内容如下。

第 1 章对目前高速公路隧道的发展现状、黄土隧道的施工方法,以及变形特点与管理进行论述。

第 2 章对高速公路黄土隧道施工过程的变形机理进行描述,具体介绍中壁法、台阶法,以及分步开挖法施工过程的变形机理。

第 3 章对高速公路黄土隧道施工过程监控量测设计进行研究,阐述监控量测的具体内容,深入研究黄土隧道施工监控量测的具体内容与方法,以及具体的实施。

第 4 章主要介绍高速公路黄土隧道施工过程的质量管理,具体包括开挖质量管理、初支施工质量管理、仰拱施工质量管理、二衬施工质量管理,以及施工质量的检测方法。

第 5 章对高速公路黄土隧道施工过程的安全管理进行研究,包括隧道施工特点、隧道安全施工影响因素、隧道施工安全管理体系、隧道施工安全管理保证措施和施工安全应急预案。

第 6 章主要介绍具体施工过程中的变形管控策略,其中有开挖过程管控、初支变形控制,以及二衬变形控制。

第 7 章高速公路黄土隧道施工过程变形管控实践。通过对变形过程进行数值模拟分析,施工过程的监控量测,提出施工过程中具体的质量和安全管理措施及实践总结。

在本书的编写过程中,参考了大量的国内外文献资料,在此向文献资料原著作者表示衷心的感谢。

限于作者的学识和水平,书中难免有错误和不妥之处,恳请专家和读者批评指正。

编者
2012.3

目 录

第1章 高速公路黄土隧道施工方法	1
1.1 高速公路隧道发展现状	1
1.1.1 我国高速公路隧道发展现状	1
1.1.2 我国高速公路黄土隧道研究现状	2
1.1.3 高速公路黄土隧道施工中存在的问题	4
1.2 高速公路黄土隧道施工方法	5
1.2.1 中壁法	5
1.2.2 台阶法	6
1.2.3 分步开挖法	6
1.3 高速公路隧道施工变形特点与管理	7
1.3.1 黄土隧道施工特点	7
1.3.2 黄土隧道施工管理	8
1.3.3 黄土隧道施工过程变形特点	10
第2章 高速公路黄土隧道施工过程变形机理	11
2.1 黄土隧道中壁法施工变形机理	11
2.1.1 模型的建立	11
2.1.2 施工过程模拟	12
2.1.3 结果分析	13
2.2 黄土隧道台阶法施工变形机理	18
2.2.1 模型的建立	18
2.2.2 施工过程模拟	19
2.2.3 结果分析	20
2.3 黄土隧道分步开挖法施工变形机理	34
2.3.1 模型的建立	34
2.3.2 施工过程模拟	35
2.3.3 结果分析	36
第3章 高速公路黄土隧道施工过程监控量测设计	53
3.1 监控量测内容	53
3.2 黄土隧道施工监控量测内容与方法	54
3.2.1 黄土隧道施工监控量测内容	54
3.2.2 黄土隧道施工监控量测原理与方法	54

3.3 黄土隧道施工监控量测实施	58
3.3.1 监测频率	58
3.3.2 监测项目的控制基准及管理基准	59
3.3.3 监测数据的分析与管理	60
3.3.4 监测过程组织管理	60
第4章 高速公路黄土隧道施工过程质量管理	62
4.1 开挖质量管理	62
4.1.1 测量管理	62
4.1.2 开挖前加固控制管理	63
4.1.3 开挖控制管理	63
4.2 初支施工质量管理	64
4.2.1 钢拱架支设管理	64
4.2.2 钢筋网管理	65
4.2.3 混凝土喷射管理	65
4.3 仰拱施工质量管理	66
4.3.1 仰拱开挖管理	66
4.3.2 仰拱施工过程管理	67
4.4 二衬施工质量管理	68
4.4.1 钢筋绑扎管理	68
4.4.2 防水板铺设	69
4.4.3 二衬混凝土浇筑	69
4.5 施工质量检测管理	70
4.5.1 隧道衬砌质量检测	70
4.5.2 开挖质量检测	83
4.5.3 初支质量检测及处理	83
4.5.4 仰拱质量检测及处理	83
4.5.5 二衬质量检测及处理	84
第5章 高速公路黄土隧道施工过程安全管理	85
5.1 隧道施工安全事故影响因素	85
5.1.1 地质灾害	85
5.1.2 开挖方法不合适	85
5.1.3 支护强度不足	85
5.2 隧道施工安全管理体系	86
5.2.1 安全管理组织机构	86
5.2.2 安全保证体系	86
5.2.3 安全监督管理	86
5.3 隧道工程安全保证措施	88

5.3.1	洞身开挖施工安全措施	88
5.3.2	洞身支护施工安全措施	89
5.3.3	洞身二次衬砌施工安全措施	90
5.3.4	施工用电安全措施	90
5.4	施工安全应急预案	91
5.4.1	灾情预警和报告	91
5.4.2	应急反应机构	91
5.4.3	抢险队伍	92
5.4.4	灾害处置	92
5.4.5	抢险步骤	92
5.4.6	防灾设备	92
5.4.7	灾情搜集和报告	92
第6章	高速公路黄土隧道施工过程变形管控策略	93
6.1	开挖过程变形管控	93
6.1.1	掌子面变形管控	93
6.1.2	地表变形控制	93
6.2	初支变形控制	99
6.2.1	初支施作时机	99
6.2.2	初支变形稳定控制	100
6.3	二衬变形控制	101
6.3.1	二衬施作时机	101
6.3.2	二衬施工过程	106
6.3.3	二衬养护时间	107
第7章	高速公路黄土隧道施工过程变形管控实践	108
7.1	概述	108
7.1.1	张承高速公路简介	108
7.1.2	草帽山黄土隧道	108
7.2	隧道开挖变形数值模拟分析	112
7.2.1	计算模型模型的建立	113
7.2.2	开挖过程	116
7.2.3	计算结果	118
7.3	隧道施工监控量测	136
7.3.1	监控量测重点与难点	136
7.3.2	监测项目及结果	136
7.4	隧道施工过程质量管理	216
7.4.1	隧道开挖质量管理	216
7.4.2	隧道初支质量管理	217

7.4.3 隧道仰拱、二衬质量管理	218
7.4.4 防排水质量管理	218
7.5 隧道施工过程监测管理	218
7.5.1 第三方监测机构管理	218
7.5.2 监测制度管理	220
7.5.3 监测保障措施	221
7.5.4 监测管理实践总结	222
参考文献	226

第1章 高速公路黄土隧道施工方法

1.1 高速公路隧道发展现状

1.1.1 我国高速公路隧道发展现状

我国幅员辽阔,人口众多,资源相对稀缺,各地经济发展很不平衡。交通运输发展相对落后,制约了经济发展。改革开放以来,我国将交通运输列为国民经济发展的战略重点之一。公路交通在国民经济和交通运输中具有覆盖面大、适应性强,机动灵活等特点和优势,因此受到重视,并得到快速发展,尤其是高速公路、长大桥梁和公路隧道等公路基础设施的发展更是举世瞩目。

在20世纪80年代以前,我国公路建设很少设计长大隧道。改革开放以后,公路建设步入快车道,为实现截弯、降坡,避免翻山越岭,相继修建了一批长大公路隧道。据不完全统计,截至2003年底我国已建成公路隧道2175座,总长度1001 km,其中特长隧道27座,总长度99.72 km;长隧道242座,总长度385.6 km;中、短隧道746座,长度38.7 km。仅2002—2003年就有在建和已建的3000 m以上的特长隧道26座,1500 m以上3车道隧道5座。2004年12月13日贯通的秦岭终南山公路隧道全长18.02 km,目前在世界公路隧道中列为第二长,同时也是中国和亚洲最长的公路隧道。2005年底仅次于终南山隧道的大坪里特长隧道(全长12.3 km)开工。截至2006年底中国已建成千米以上的公路隧道140余座,全国公路隧道达3788处、184.18万延米,其中特长隧道49处、19.18万延米。其他隧道分别为长隧道444处、72.32万延米,中隧道577处、40.94万延米,短隧道2718处、51.75万延米。2007年11月6日中国交通部总工程师凤懋润在国际隧道研讨会上表示,随着中国高等级公路向西部延伸,21世纪前10年中,中国将有总长155 km以上的公路隧道投入建设。同时,中国还有许多特长隧道正在研究中,如贯穿中国沿海大走廊的渤海海峡隧道与琼州海峡隧道、修建连接台湾省与大陆的台湾海峡隧道等。全国公路隧道为4673处、255.55万延米,比2006年末增加885处、7137万延米。其中特长隧道83处、36.10万延米,长隧道607处、100.11万延米,中隧道758处、53.68万延米,短隧道3225处、65.66万延米。2008年底,我国高速公路总长6.03万 km,全国公路隧道为5426处、318.64万延米,比2007年末增加753处、63.09万延米。其中特长隧道120处、52.57万延米,长隧道743处、122.62万延米。到2009年底,全国高速公路6.51万 km,公路隧道为6139处、394.20万延米,比2008年年末增加713处、75.56万延米。其中特长隧道190处、82.11万延米,长隧道905处、150.07万延米,至2010年年底,全国高速公路总长7.41万 km,全国公路隧道为7384处、512.26万延米,比2009年年末增加1245处、118.06万延米,比“十五”末增加4495处、359.55万延米。其中,特长隧道265处、113.80万延米,长隧道1218处、

202.08 万延米。“十一五”期内,杭州湾跨海大桥、苏通长江大桥、舟山连岛工程、秦岭终南山隧道、上海崇明隧桥、厦门翔安海底隧道等重大工程相继建成。我国公路网总里程达到 398.4 万 km,5 年新增 63.9 万 km。其中,高速公路由“十五”期末的 4.1 万 km 增加到 7.4 万 km,5 年新增 3.3 万 km,居世界第二位。

目前,我国已成为世界上隧道数量最多、施工环境最复杂、发展速度最快的国家。图 1-1 和图 1-2 为我国自 2006 年至 2010 年 5 年间我国高速公路和隧道的统计分析对比图。

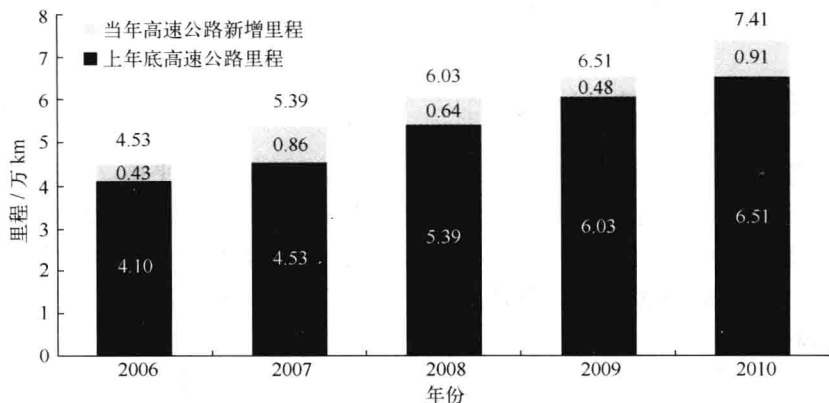


图 1-1 2006 年至 2010 年我国高速公路建设里程统计图

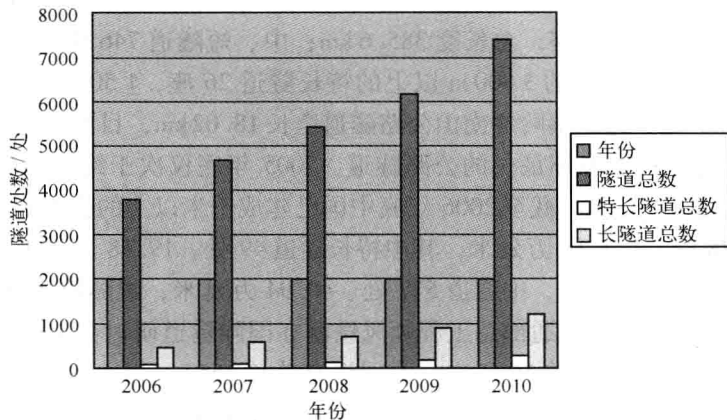


图 1-2 2006 年至 2010 年我国隧道建设数目统计图

1.1.2 我国高速公路黄土隧道研究现状

我国是世界上黄土分布最广的国家,分布面积约 63 万 km^2 ,约占全国陆地面积的 6.6%,主要分布在北纬 $33^\circ \sim 47^\circ$ 、东经 $75^\circ \sim 127^\circ$ 之间,黄土高原为黄土主要分布区。

黄土隧道的研究是以黄土的工程地质性质研究成果为基础,借鉴、吸收了石质隧道和其他土质隧道的成熟理论而逐步形成自己的体系,建国后大致经历了 3 个阶段。

第一阶段:20 世纪 50 年代、60 年代的设计以普氏理论为基础,通过大量工程实践,发现普氏理论对我国黄土洞室不适用,按普氏理论所算得的围岩压力值大大超过实测结果,其所假定的压力分布形式及侧荷载系数也与实际不符。按此设计的衬砌一方面普遍偏厚,造成

很大浪费；另一方面在衬砌控制断面，设计弯矩与实际相反，致使不少工程衬砌开裂。随后才引起对黄土洞室围岩压力问题的系统研究。

第二阶段：根据实践经验，在20世纪60年代初提出以工程地质类比法指导设计，并对黄土按地下洞室稳定性要求作了相应的分类。

第三阶段：20世纪70年代中提出以工程地质类比为主，力学计算为辅，必要时用实测的方法指导设计。

近20年来随着计算技术的迅速发展，土体应力—应变关系的研究逐渐深入，出现了各种各样的弹塑性应力—应变模型。然而由于土体结构的复杂性，不同的应力水平和路径都会影响它的应力—应变关系，要全面反映土体的力学特性往往是相当困难的。一般说来，力学模型越接近所研究的对象，其形式越复杂，描述模型特性的力学参数越多。由于参数测定过程中的偶然误差及参数本身所反映的物理力学特征的随机性，使得参数测定值总在一定范围内波动，因而往往与精确的理论描述不相称。作为理论模型应全面反映客观实体，使人们能更深刻地认识自然，并为改造自然提供依据，作为工程应用，则力求使模型既能抓住所研究对象的最本质东西，又简单实用。一个最好的模型应是既能解决工程问题且又是最简单的模型。

大量的工程实践表明，无支护黄土洞室一般均不能保持长期稳定。在现有的工程中常用的洞形及高跨比下黄土洞室的塌方首先发生在拱肩或两侧，然后随着洞形及应力条件的恶化向洞顶发展，塌方的主要特征是脆性剪切破坏。一旦作了支护，只要其后工程地质、水文地质条件无异常变化，则通常总能保持稳定。土体变形不是局限于洞周附近的一个小范围内，而是由洞周直至地表的一个很大范围内。在洞周一定范围内没有发现土体变形有突然的、明显的变化，而是由洞周至地表逐渐减少，最大变形发生在拱顶。对于埋深20~50m，跨度6~10m的洞室，拱顶最大下沉量约3~5cm，地表沉降量很小，土体变形随着掘进和时间的增长而增长，增长速率开始较快，以后逐渐减慢，并趋于稳定，基本稳定时间3~4个月。土体变形和时间关系可用双曲线描述。作为工程应用，当应力小于比例极限时，深层黄土可足够近似地被看作是直线变形体，运用直线变形体理论来研究，当应力超过比例极限时，深层黄土可作为弹塑性体，运用相应的弹塑性理论来研究，弹塑性条件可采用莫尔库仑准则。进入塑性状态后，其应力—应变关系也可用邓肯—张的双曲模型或其他组合曲线模型。

黄土洞室时间效应是存在的。研究时间效应目前在数学上不会遇到很大的困难，问题主要在物理方面，要涉及深层黄土流性及相应的计算参数，而目前这方面的研究尚未达到实用阶段。但对于这种最终能趋于稳定值的应力—应变分析问题，利用弹塑性模型可以给出一个最终稳定值，基本能满足工程要求。但是必须指出，由于黄土洞室支护总是在开挖后隔一定时间再设置的，部分土体变形在支护前已完成，因此对黄土洞室就有必要考虑支护早晚对洞室应力应变及围岩压力的影响。

根据现有工程的调查分析，已成黄土洞室工程中的单洞大跨达10多米，洞室断面形状有直墙半圆拱形、半形、二心圆形、抛物线落地拱形等。对于净跨小于等于6m的洞室，常用的衬砌有砖衬砌、钢筋混凝土衬砌及现浇素混凝土初砌。近十几年来又开始在洞室中应用喷锚混凝土衬砌（挂网或不挂网）。对于净跨6~7m的洞室，通常采用现浇素混凝土衬砌，厚度为20~30cm；对于净跨9~10m的洞室，目前采用现浇素混凝土衬砌，厚度30~40cm。在施工方法上，对于跨度小于6~7m的洞室，一般采用全断面阶梯形一次开挖；对于跨度

大于7m的洞室,通常采用化大跨为小跨的先拱后墙法或先墙后拱法。不论采用何种施工方法,都必须遵循“随挖随衬、回填及时”的原则。

李宁,朱运明,谢定义等针对南水北调中线穿黄连接段大断面饱和黄土隧洞的成洞条件问题,应用岩土工程软件对几种可能的方案进行了施工仿真试验研究,研究认为,新奥法施工以调动围岩自身的承载能力,减少支护衬砌的工作荷载为宗旨,其成洞条件应从围岩应力、变形与支护结构的内力强度上耦合考虑。

郭增玉、张朝鹏研究探讨了宝鸡火车站地下商场工程高湿度黄土的非线性流变本构模型和参数。该工程是首次在西北黄土地区推广逆作法施工的地下人防工程,结构与施工设计主要采用工程类比法。建立了高湿度场黄土的非线性流变本构模型并确定了相应的模型参数。

韩斌、朱庭勇研究指出,黄土地区修建各种建筑物时,要充分考虑建造区域黄土的湿陷性。

凌荣华研究了大跨度深埋黄土隧道在其他条件不变的前提下,隧道开挖时黄土的变形破坏规律和衬砌中内力的分布规律,指出黄土大跨度深埋隧道在不同开挖方式下的变形破坏规律存在本质区别,导致这本质区别的原因在于被开挖体的形状特征、初始与开挖过程中应力场特性、土体的强度特征,以及衬砌的力学性质和过程不同的开挖方式决定了大跨度深埋黄土隧道的衬砌中内力分布规律根本不同,这就可以对开挖方式与衬砌形状进行优化设计,对工程实践具有明确的指导意义。

1.1.3 高速公路黄土隧道施工中存在的问题

1. 沉降量大

由于黄土地基承载力低,一般为150 kPa,加之后期黄土地基受水侵害,产生湿陷,以及以往的隧道设计结构存在的不足,造成黄土公路隧道普遍存在后期沉降量偏大的问题。

2. 拱顶、拱腰纵向开裂

由于隧道施工及运营期的沉降变形,以及施工方法与施工工艺的原因,加之隧道拱部上方土体强度低,隧道受力以上方土体自重应力为主,导致隧道拱部受力不断加大。根据隧道施工及运营期二次衬砌应力量测结果,隧道土体与一次衬砌间、一次衬砌与二次衬砌间及衬砌结构内部的受力在初期变化较大,但很快趋于稳定。压力值在隧道各部位表现不一,拱部以受压为主,而侧墙则前期受拉,后期受压,隧道受力存在不均现象。但在隧道运营期,拱顶、拱腰逐渐出现纵向开裂,最大长度达到40 cm以上。

3. 渗漏水严重

由于黄土的垂直节理及大孔隙性,加之受隧道施工时产生的纵向裂缝及管状松动圈的影响,地表雨水极易入渗至隧道周围,突破隧道防排水施工的薄弱环节,在隧道施工缝处产生渗漏水现象。

4. 地表开裂

由于隧道采用不合理施工方法,造成隧道施工中的下沉量较大,导致土体变形范围的不断扩大,加之黄土的抗剪强度及基底承载力较低,隧道初次衬砌无法抵抗黄土的自重应力,隧道拱部上方倒梯形土体随隧道向下产生位移,导致隧道上方地表产生裂缝。

5. 路面底鼓、纵向开裂

由于在隧道设计中,侧墙与仰拱的连接方式存在缺陷,以及为了减少隧道的开挖及回填数量,降低工程造价,仰拱半径偏大,造成隧道墙脚的衬砌压力远大于中部的衬砌压力;同时,由于施工工艺的缺陷,导致隧道墙脚的下沉量远大于仰拱的下沉量,致使仰拱上部出现大的拉力,以及仰拱配筋不足,造成仰拱鼓起,并向上波及路面,导致路面产生纵向开裂现象。

6. 排水管结碱堵塞导致施工裂缝漏水

由于黄土中存在大量的盐碱,随着地表雨水的入侵而溶于地下水中,地下水含盐碱浓度加大,形成结晶物附着于排水管道壁,造成管口堵塞,在隧道排水薄弱环节处出现渗漏水现象。

1.2 高速公路黄土隧道施工方法

隧道的施工方法要根据断面形状、隧道长度、施工工期、工程地质、涌水情况、周围环境等条件综合确定。在洞口浅埋段及未固结围岩、断层破碎带等不稳定围岩中施工时,由于其地质条件一般较差,围岩较破碎,地表水及地下水较丰富,施工困难、易塌方。因此,在设计及施工前应充分调查,有针对性地对施工方法及工序进行设计,从而保证隧道开挖得以顺利进行。根据以往施类比经验,对黄土隧道的施工采取的主要对策有缩短开挖进尺、分割掌子面分部开挖和采用辅助工法等。下面分别介绍高速公路黄土隧道通常采用的3种工法。

1.2.1 中壁法

中壁法包括CD法和CRD法两种工法。在掌子面不太稳定,埋深较浅及土体较差的工程中常使用中壁法,如图1-3所示。该方法因纵向分割断面,能确保掌子面的稳定性,其开挖断面相对较小,若支护及时,可防止隧道周边土体松弛范围的扩大。当施工地质变化较大时采用CD法、CRD法,易于与其他施工方法进行转换。

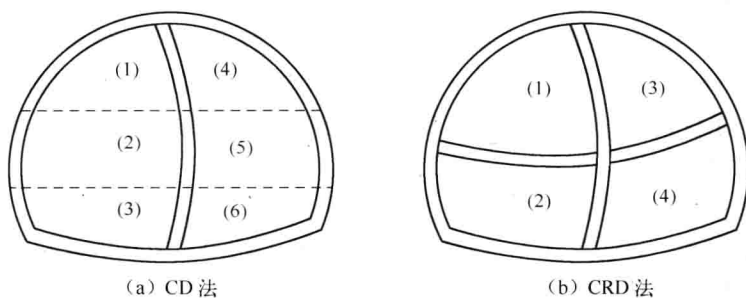


图1-3 中壁法

CD法属于断面分割施工,施工技术难度较低,施工工序简单,工期较快,而且造价相对较低,在大型电站和公路隧道中被广泛使用;但由于中壁的存在,使工作空间缩小,所以只适用于中小型机械进行作业。

CRD法是解决超浅埋、大跨度地下工程的一种行之有效的施工方法。其最大特点是将大断面化成小断面,步步成环,每个施工阶段都是一个完整的受力体系,结构受力明确,变

形小,工法安全性高,但施工工序繁琐。

大量的实测资料表明,如果采用严格的施工措施,确定较好的台阶步距并认真对待每一施工细节,采用中壁法可大大减小地表下沉与土体位移。在超浅埋大跨度情形下,该方法能将地表下沉控制在 35 mm 以内,水平位移在 15 mm 以内。另外,临时中隔墙及横撑在开挖阶段是很重要地支撑构件,但整个初期支护封闭后,中墙及水平横撑的作用不大,拆除后对地层与结构位移及支护内力影响均较小,可重复使用,起到节能的效果。

1.2.2 台阶法

台阶法是指正台阶两步开挖法,几乎可以用于所有地层,施工顺序如图 1-4 所示。

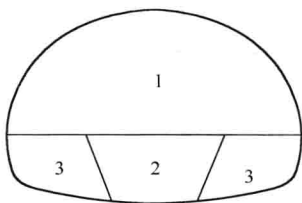


图 1-4 台阶法

注: 1—上半部开挖; 2—下半部中央开挖; 3—边墙开挖

根据台阶长度的不同可以划分为长台阶法、短台阶法和超短台阶法 3 种。具体采用哪一种台阶法,应根据以下 2 个条件来决定。

(1) 对初期支护形成闭合断面的时间要求,围岩越差,要求闭合时间越短,则台阶必须缩短。

(2) 施工机械的效率高,则可以缩短支护闭合时间,故台阶可以适当加长。

长台阶法:长台阶法上、下开挖断面相距较远,台阶较长,一般上台阶应超前 50 m 以上,或大于 5 倍洞宽。施工时上、下部可配备同类机械进行平行作业。当隧道长度较短时,可先将上半断面贯通后,再进行下半断面的施工。长台阶法一般用于Ⅲ、Ⅳ级围岩的隧道。

短台阶法:短台阶法是指两个断面相距较近,一般上下台阶距离小于 5 倍但大于 1 ~ 1.5 倍洞宽,上下断面基本可以采用平行作业。短台阶法能缩短支护结构闭合的时间,改善初期支护的受力条件,有利于控制隧道变形收敛速度和变形值,所以可用于稳定性较差的围岩。短台阶法主要用于Ⅳ、Ⅴ级围岩的隧道。

超短台阶法:超短台阶法是一种适用于在软弱地层中开挖的施工方法,一般在膨胀性围岩及土质地层中采用。这种方法上台阶仅超前 3 ~ 5 m。超短台阶法的缺点有上下断面相距较近、机械设备集中、作业时间相互干扰、生产效率低、施工速度慢。

1.2.3 分步开挖法

1. 环形开挖预留核心土法

环形开挖预留核心土法工作面分为上下两个台阶,先开挖上台阶弧形导坑,预留核心土,快速完成初期支护,滞后 3 ~ 5 m 开挖下台阶两个侧壁,进行初期支护,最后开挖中部,施作仰拱,如图 1-5 所示。

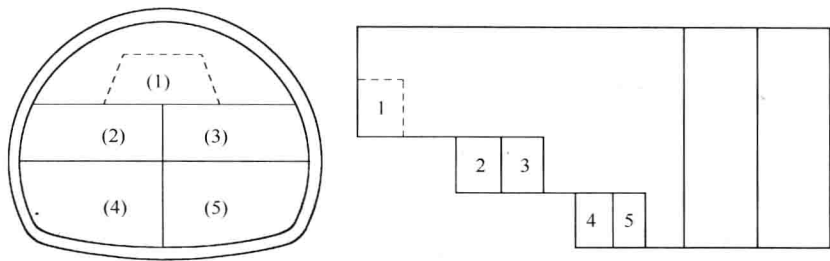


图 1-5 环形开挖预留核心土法

分步平行施做拱墙初期支护，混凝土仰拱超前施做及时闭合，构成稳固的初期支护体系，保护围岩天然承载力，有效抑制围岩变形。经监控测量信息反馈指导施工，以及时调整支护参数和混凝土衬砌施工时间。在断层带、破碎带等自稳性较差地层和富水地层中，则采用大管棚、迈式注浆锚杆和小导管预注浆固结、止水等辅助施工措施后，上部弧形导坑法短开挖施做拱部初期支护；再左右错位开挖及施做边墙初期支护，混凝土仰拱紧跟下台阶并及时施做尽早闭合成环，构成支护体系受力。

2. 双侧壁导坑法

在埋深超浅、围岩特别差，以及地表沉降控制严格的工程中常使用双侧壁导坑法。双侧壁导坑法包括侧导坑法和眼镜工法，如图 1-6 所示。

双侧壁导坑法因分割断面细，能确保掌子面的稳定和有效控制隧道周边围岩松弛范围，超前的导坑能探明前方的地质情况，遇到不良地质时可在开挖前采取预防措施，但当地质变好时改变工法困难。该方法由于分割断面较小，围岩变形较小，故施工安全度很高。同时，也造成了该工法工序复杂，造价高，施工速度慢，特别是限制了大型机械的使用，施工条件差。

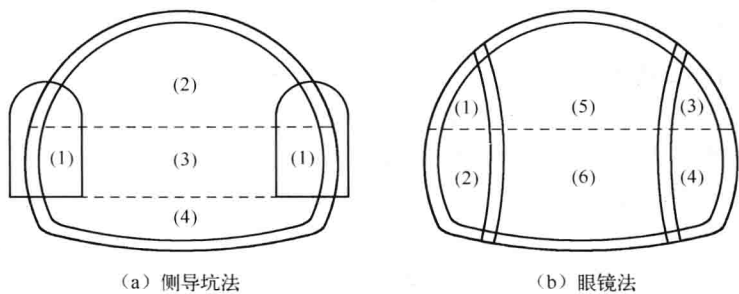


图 1-6 双侧壁导坑法

1.3 高速公路隧道施工变形特点与管理

1.3.1 黄土隧道施工特点

黄土是第四系堆积的大陆沉积物，是半干旱气候条件下形成的并有针状孔隙、处置节理的特殊土。黄土隧道施工时，由于黄土本身强度低，开挖过程中地层应力重新分布，加上施工振动、施工工艺不当等因素，都会引起隧道围岩下沉、大变形或坍塌等严重后果，因此，

对黄土隧道施工方法和质量、安全控制要求得更高。

1.3.2 黄土隧道施工管理

隧道工程施工最主要的是选择合理的施工方法。除了考虑隧道施工的工程地质条件外,还要强调施工方法必须符合快速、安全、质量及环境的要求,其中又以质量要求至关重要。

针对黄土隧道的施工特点,为采取有效施工管理、保证施工质量,黄土隧道工程施工管理主要包括开挖及初期支护的施工管理、防排水和二次衬砌的施工管理、原材料的管理、地质超前预报及施工过程量测管理。

1. 开挖及初期支护的施工管理

黄土隧道的开挖断面应符合设计要求,以二次衬砌设计轮廓线为基准,考虑预留变形量、测量误差和施工误差。避免实际变形量超过预留变形量造成初期支护侵入二次衬砌,或因预留变形量过大造成增大二次衬砌厚度或增加回填等现象。

锚杆是隧道施工过程中维持土体稳定,保证施工安全的重要支护手段之一。隧道完工后,锚杆在一定程度上作为永久支护的一部分发挥作用。因此,在施工中应重点控制锚杆类型、锚杆长度、垫板、注浆饱满程度、布置情况。

架设钢架的关键是保证钢架的稳定性,为了确保钢架的支护效果,土体、钢架、喷射混凝土应形成共同的承载体系。所以,要求钢架应被喷射混凝土包裹,同时还应与土体密贴顶紧。

喷射混凝土喷射必须采用湿喷工艺。

超前小导管作为超前支护的有效手段之一,施做小导管后土体能得到预加固,形成一定厚度的加固圈,起到预支护作用,在其保护下即可安全地进行开挖作业。施做超前小导管时应严格控制钻孔孔位、外插角、孔深注浆压力。钻孔孔位按 20 ~ 50 cm 控制,保证每环的数量;外插角以 10° ~ 30° 为佳,注浆压力以 0.5 ~ 1.0 MPa,必要时在孔口处设置止浆塞,保证注浆可靠和小导管的刚度。

2. 防排水的施工管理

隧道工程防排水,应采取“防、排、截、堵相结合,因地制宜,综合治理”采取切实可行的措施,达到防水可靠,排水通畅的目的。

为保证隧道的防排水工程质量,除按设计布置防排水设施外,还在水多的地方增设排水设施,同时做好以下几个施工控制要点。

(1) 开挖时土体有渗水时,做好相应的引排措施。渗水集中时设导水管进行导水;渗水面积大时,喷锚前设置盘状软式透水管排水;渗水严重时应设置泄水孔,边排水边喷混凝土,喷锚完成后,土体与喷混凝土之间的泄水孔用引水导管引向纵向排水管,再引至水沟排出隧道。初期支护通过引水管和初期支护喷射混凝土的堵截作用形成永久性排水系统。

(2) 挂设 EVA 防水板之前先找平初期支护,割除漏出的钢筋头和锚杆头,紧接着施做排水导管,无纺布和防水板安装长度和弧长的比宜选 10:8,挂设时自拱部向两边墙进行,留有松弛度,保证防水板都能抵至土体,并与土体密贴。

防水板的纵向搭接长度不应小于 10 cm,环向应要求生产厂家按安装长度进行生产,不设接头。如虚设接头时,下部防水板应压住上部防水板,大接长不小于 10 cm,防水板搭接缝应与二次衬砌施工缝错开 50 cm 以上。防水板采用双焊缝焊接,单条焊缝不小于 15 mm。

焊缝若有漏焊、假焊应予补焊,温度和走行控制不当焊焦的地方应补焊。补丁应剪成圆角,不得有三角形和四边形等尖角存在,补丁边缘距破损边缘的距离不应小于7 cm。补丁应满焊,不得有翘边空鼓部位,补丁完成后做漏气检测,焊接接头平整,不得有气泡褶皱和空隙。对完成的防水板应做好保护,如造成破损应立即进行修补。浇注混凝土的过程中,如果发现防水板绷的过紧,为避免破裂,应根据情况将该处防水板破开,在用防水板进行补焊,使新旧防水板焊接成一体。

(3) 对于施工缝必须进行凿毛,止水带的安装必须直顺,中心线和施工缝中心重合固定牢固,不得有扭曲的现象,接头符合设计要求优先采用热熔焊接,不得叠接,接缝平整牢固。

3. 二次衬砌的施工管理

在黄土隧道中二次衬砌作为永久性受力结构,二次衬砌的施工应尽量缩短时间,尽快与仰拱封闭成环。

(1) 为了保证混凝土的施工质量,必须严格按照施工工艺进行施工。衬砌混凝土的质量,受到施工方法的极大影响。特别是现场内的运输、灌注、捣固、养生对混凝土的性能影响很大,所以各个作业环节必须严格按照设计要求及现场试验的结果进行操作。在施工过程中,应严格控制混凝土的配合比、搅拌时间、入模温度、含气量、塌落度,以保证混凝土的质量。

(2) 仰拱和仰拱填充必须分开浇注。仰拱是受力结构,设计按圆弧形结构考虑的,如果仰拱和仰拱填充同时浇注,就会改变拱脚处的结构外形,造成拱脚应力集中,不利于结构受力。仰拱、仰拱填充一样属于混凝土结构,灌注混凝土控制要点一样,需要注意的是仰拱混凝土施工前必须对基底进行检查,隧底虚碴、杂物和积水必须清除干净。当隧底有超挖时,仰拱的超挖部分必须用同级混凝土回填。仰拱、仰拱填充应分段连续浇注,一次成型,不留纵向施工缝。特殊情况可按设计要求进行分布施工。

(3) 衬砌背后注浆起填充作用,因此必须保证回填密实。衬砌背后空洞的存在,对隧道的承载特性有不可忽略的影响,衬砌背后的空洞越大,最终承载力就会随之降低。因此,必须对衬砌背后的空洞进行回填注浆,并对注浆材料、注浆压力、注浆范围、注浆时间进行严格的控制。

4. 原材料的管理

要保证工程的施工质量,必须对施工原材料加强控制。工程中采用的主要材料、半成品、成品进场必须进行现场验收,必须有出厂合格证、检验报告、进场复检报告才能用于施工。对于没有合格检验报告的材料一律不得用于施工。

5. 地质超前预报及围岩量测管理

隧道工程都是穿过山体的工程,地质条件的优劣直接影响施工安全、质量和进度。虽然隧道施工前设计单位提供了地质、水文资料,但因勘察精度的限制和其他各种原因,常常遗漏很多,只有在隧道施工过程中才能发现不良地质地段,而围岩的级别只能概略的确定。因此,施工地质超前预报显得尤为重要。借助仪器对隧道施工前方岩土体结构类型裂隙等地质情况进行综合预报,针对不同地质情况,提前选好施工方法,作好施工准备工作,可以有效地避免质量和安全事故的发生。

量测是对围岩动态监控的重要手段,是黄土隧道新奥法施工的重要组成部分。量测的目