

山岭隧道及地铁工程 超前支护和塌方防治

中铁隆工程有限公司

中国建筑工业出版社

山岭隧道及地铁工程 超前支护和塌方防治

Advanced Support and Collapse Prevention in
Mountain Tunnel and Subway Project

中铁隆工程有限公司
Ranken Railway Counstruction, Ltd

中国建筑工程工业出版社

图书在版编目(CIP)数据

山岭隧道及地铁工程超前支护和塌方防治/中铁隆工程有限公司编. —北京: 中国建筑工业出版社, 2012. 1

ISBN 978-7-112-13881-4

I. ①山… II. ①中… III. ①隧道工程-超前支护-塌方-防治②地下铁道-铁路工程-超前支护-塌方-防治
IV. ①U458.3②U231

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 263896 号

本书系中铁隆工程有限公司论文集, 共编录论文 50 篇。内容涉及山岭隧道、城市地铁、市政工程及桥梁、工程设计四大部分。

本书可供隧道、地铁、市政桥梁等工程人员学习参考。

* * *

责任编辑: 咸大庆 李天虹

责任设计: 董建平

责任校对: 党 蕾 王雪竹

山岭隧道及地铁工程超前支护和塌方防治 Advanced Support and Collapse Prevention in Mountain Tunnel and Subway Project

中铁隆工程有限公司

Ranken Railway Counstruction, Ltd

*

中国建筑工业出版社出版、发行(北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天成排版公司制版

北京富生印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 26 字数: 646 千字

2012 年 1 月第一版 2012 年 1 月第一次印刷

定价: 75.00 元

ISBN 978-7-112-13881-4
(21888)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

主 编：刘昌用

副 主 编：刁天祥

技术顾问：蒋中庸 贺长俊 崔志杰

编 委：吴文利 周 勇 郜 强 巫志农 王洪华 卢志强

何洪波 张 东 李明道 董长明 晋 伟 曹发亮

刘 莹 黄 昱 资斌全 刘瑞斌 章玉伟 刘建伟

编 务：何 陈 刘 镜 张海龙 彭 晶

编者的话

两年前，我们曾出版了《隧道及地下工程探索和实践》论文集，那是中铁隆工程有限公司十年来参与国内高速公路、高铁、城市地铁和市政道路建设的切身总结，是中铁隆公司为广大技术人员搭建的施展才华的平台。近两年来，中铁隆公司经历了更为复杂的设计、施工、监理，对山岭隧道、城市地铁及其他市政、矿区建设，从理论到实践，进行了更深层次的思考和研究。这次出版的《山岭隧道和地铁工程超前支护和塌方防治》一书，正是这种思索和研究的成果。

塌方是隧道施工中常被提及的话题，而超前支护对塌方起着不可替代的作用，为了研究各种岩层和地下水对隧道开挖稳定的影响规律，从根源上探索隧道塌方的客观因素和主观原因，以及一旦发生塌方的治理原则和方法，相关作者曾辗转于都汶、京平、京包高速和 108、110 国道等公路工程的隧道施工现场；对于锚杆、管棚、小导管注浆等超前加固机理和在永久结构中的作用，相关作者除了亲自参与地铁现场的设计、施工，还从理论上进行了探索并向老一辈专家请教，将分析结果融入论文之中。

我们要特别感谢中国工程院施仲衡院士、隧道专家王建宇、徐祯祥研究员在百忙之中为本书作序，并提出中肯的意见；还要特别感谢蒋中庸、贺长俊、崔志杰三位隧道专家，有了他们的帮助和指导，很多青年作者才得以脱颖而出，撰写出有一定学术价值的论文。老一辈专家学者的言传身教、思想精华和重要理念，已经成为中铁隆公司科技进步和人才成长的宝贵的精神财富，一直激励着我们前进。

2011 年 12 月 19 日

序 一

在修建大瑶山隧道时，我国引入液压凿岩台车配合大型运装设备和双线衬砌台车配合泵送混凝土技术，实现了开挖、砌衬机械化作业，标志着我国钻爆法修建岩石隧道达到了一个较高的水平。上世纪九十年代，大型全断面掘进机(TBM)在秦岭隧道的成功使用，我国掌握了机械化程度更高的现代隧道建造技术。基于工程投资、地质条件以及施工条件等原因，目前我国山岭隧道主要采用钻孔平台配合多台钻机，实现爆破作业，辅之以超前支护的施工方法。因此更多的关注这方面的施工尤其是关注超前支护和隧道防塌，更具有现实意义。

我国地铁经历五十年的发展历程，地铁隧道的施工技术取得了长足的进步和发展。各大城市规划构建轨道交通为主体、辅以多种交通方式组成的综合公共交通体系，地铁隧道建设规模空前浩大，我们必须面对建设过程中出现的因复杂的水文地质条件、因邻近或穿越建筑物、桥梁、河流、地下管线等所带来的环境风险，也必须面对因功能性需要而出现的高、大、宽断面型式、多层多跨结构型式和平顶直墙结构型式，还有因断面变化而必须的挑高、扩挖、反掏等结构自身风险。为应对风险，设计者、建设者在制定严格的沉降、收敛等变形控制标准的同时，必然要求新的技术保证措施，从而促进地铁隧道建设领域新技术、新工艺、新设备的研发和实践，乃至产生新的理论。总结多年来地铁建设的实践经验和进行必要的理论研究，是我们的共同责任。

近三十年发展起来的浅埋暗挖技术，在“新奥法”理论的基础上，其基本点在于通过对围岩进行超前处理(如喷锚支护等)达到给围岩提供主动支护抗力，使围岩由原来的普氏理论的荷载转变为主动成为支护体系的组成部分，与支护体系共同承受形变应力。并沿用了新奥法的超前支护、监控量测反馈等方法，但从浅埋荷载和控制城市地表沉降出发所主导的“强支护、快封闭”理念却与新奥法相悖而自成一家，诸多辅助工法尤其是超前支护技术更是得到了快速发展。如北京地铁采用直径30~60厘米长管棚作超前支护，建成了数座下穿大型建筑物的地下暗挖车站，最近正采用直径1米的密排超前管幕建设位于机场跑道下方要求零沉降的跨度达24米的平顶直墙单跨结构。

无论山岭隧道还是城市地铁隧道，超前支护的作用是不可替代的，而且正向着更高的水平发展。对地下工程而言，塌方防治，始终是常被提及的话题。《山岭隧道及地铁工程超前支护和塌方防治》一书中的一些文章，对影响开挖稳定性的地质条件做了详尽分析，

对第四系地层等地质构造的力学特性进行了深入研究，对地下水活动对岩体稳定性的影响做了系统论述，这无疑对设计、施工人员具有一定的参考价值。而根据实践经验提出的对于塌方预防的指导思想，对超前地质预报的重要性分析以及一旦发生塌方的处理原则和处理方法，都是宝贵经验，可供借鉴，值得一读。

中国工程院院士



2011年12月

序 二

“隧道工程是一种艺术”，这话很有道理。

环境条件的复杂性和不确定性使得隧道工程师们难以按照某种模式一成不变地进行设计和施工。醉心于数据分析技术的人会发现，有时，无论采用的计算方法多么高深，仍然不能解决实际问题——围岩性态数量化表达方式的困难(模型和参数的选用)常常使计算结果扑朔迷离。而隧道修建中所获得的实际经验则是格外珍贵的。在土木工程领域里，隧道工程历来以高风险性著称。也正是这一点，给隧道工程师们提供了展示他们智慧和创造力的广阔空间。

中铁隆工程有限公司将近年来在工程实践中所撰写的优秀论文结集出版实在是一件十分有意义的事。一篇篇凝结着专家和技术人员真刀真枪宝贵经验的论文不但体现了企业丰厚的技术底蕴和创新活力，而且在一定程度上真实地反映了我国隧道工程的技术进步。

除了对山岭隧道修建技术有系统的论述，这本文集突出了环境条件下的城市地下工程方面的内容。在第四系地层的软弱松散围岩中采用矿山法修建浅埋地下工程(常被称为“浅埋暗挖法”)不是一件容易的事。文集中关于地表沉降控制，地面建筑物和地下管线的保护，下穿既有地铁以及大断面、双连拱、马头门和断面突变等复杂地下结构施工方法的革新等方面的内容令人耳目一新，赞叹不已！

特别要指出的是，理论和实践都已证明，无论对于控制围岩变形还是防止坍塌，超前支护都是软弱围岩隧道施工中的重要手段，文集中介绍的复合式超前支护技术的推广价值是不言而喻的。

由于地质情况和环境条件的复杂多变，隧道工程所遇到的困难层出不穷。可以说，没有一种其他工程像隧道工程那样需要面对那么多的未知因素。隧道工程师要勇于探索，不断创新。从这本文集中，我们看到了这种精神。

愿创新之树长青！

国家级专家
研究员 博士生导师



2011年12月

序 三

中国岩土锚固工程协会于2009年10月在成都召开的第18次全国岩土锚固工程学术研讨会期间,协会组织代表们参观了由中铁隆工程有限公司在地震前修建的位于“5·12”汶川大地震中心区映川附近的都汶高速公路紫坪铺隧道出口古滑坡治理工程。岷江两岸因大地震造成了众多滑坡和泥石流灾害,然而紫坪铺隧道出口上方及左右山体虽位于古滑坡体中,却巍然屹立,这无疑是一道独特的风景。参观中发现该古滑坡占地2.1万平方米,呈圈椅状排列,由于施工单位成功地运用了抗滑桩、竖梁加压力注浆锚杆及垫墩锚杆、预应力锚索和网格骨架挂三维土工网植草绿化等综合技术,在经历“5·12”大地震后,隧道十分安全、周边山体依然稳定。与会代表们既切身体会到了自然灾害的无情,但更坚定了运用岩土锚固等综合技术治理灾害,重新恢复美好山河的信心。

如果说中铁隆公司当年出版的第一本论文集《隧道及地下工程探索和实践》是该公司十年参与承建工程的总结,为青年技术人员成才搭建的平台。那么,翻阅了第二本论文集《山岭隧道及地铁工程超前支护和塌方防治》后,深切感受到他们在为地下工程的关键技术进行总结和寻找对策,该论文集不少文章突出了对山岭隧道及地铁工程理论和实践的求索,很有新意,值得一读。

山岭隧道及地铁工程与岩土锚固密不可分。山岭隧道中结构锚杆与围岩共同作用抵御了周围岩土体的复杂变形及其所造成的强大荷载,正是新奥法核心理念的体现。而城市浅埋暗挖技术虽把“强支护、快封闭”作为重要支护手段,但在其中不可或缺的超前小导管预注浆加固地层、锁脚锚管等技术无疑也属软弱围岩的锚固范畴。正是由于工程学科之间的相互渗透,相互影响才促进了工程技术的不断创新和发展。

中铁隆公司在岩土锚固和山岭隧道及地铁工程设计和施工中均有重要建树,为我国山岭隧道和城市地铁工程建设技术的发展做出了显著贡献。本次出版的论文集是该公司在地下工程领域进行研究创新工作和顽强拼搏精神的结晶。在为论文集的出版而庆贺的同时,作为一名地下工程建设领域的老兵,我为他们,特别是为茁壮成长的年轻一代新兵们感到万分高兴,并深深地为他们的光辉未来和长足进步而祈祷!

中国岩土锚固工程协会理事长
研究员、博士生导师

徐锁祥

2011年12月

目 录

城市地下工程施工中的马头门开挖技术	贺长俊 蒋中庸 崔志杰 刘昌用	1
浅埋暗挖法开发地下大型空间施工方法及相关技术	刘昌用 蒋中庸	10

山 岭 隧 道

山岭隧道开挖支护的原理和方法	蒋中庸 刘昌用	29
隧道的初期支护和超前防护	蒋中庸 刘昌用	33
影响隧道开挖稳定性的地质条件分析	郜强 何陈 张海龙	47
单跨隧道开挖方法	蒋中庸 郜强 刘镜	64
连拱山岭隧道的开挖和防水	董长明 巫志农 刘镜	75
岩石隧道爆破	蒋中庸 刘昌用	83
隧道塌方防治	郜强 蒋中庸	97

城 市 地 铁

地铁车站盖挖逆作法施工	刘昌用 郜强	113
在含漂石的砂卵石地层施工小导管的新方法	郜强 董长明 资斌全 蒋中庸	120
西安地铁 1 号线明挖区间穿越 f3 地裂缝施工工艺探讨	李小刚 张东 郁其才	127
某地铁车站洞桩法施工新技术	刁天祥	136
从北京地铁蒲黄榆车站到重庆地铁金山寺隧道	周勇 董长明 何陈	141
地铁渡线群洞隧道安全快速施工技术	资斌全 郜强 董长明	148
地铁隧道安全快速下穿既有建、构筑物施工技术	资斌全 郜强 董长明	154
标准段向双连拱中导洞转换施工技术	杨加勇	161
复合加固措施在黄土地层大断面隧道施工中的应用	李小刚	167
深大基坑开挖支护施工技术	何洪波 刘关华 刘禹	174
某地铁车站下穿既有地铁车站施工技术问题分析处理	刁天祥	185
北京轨道交通昌平线明挖区间施工的几点经验小结	李小刚	190
双连拱隧道双洞施工工法	资斌全 郜强 刘莹	195
成都地铁深井降水施工实践	吴永科	201
VMT 自动导向系统在盾构法施工中的应用和研究	袁存防	207
异形基坑模板及支架设计与验算	刘关华 刘禹 郑文昌	215
小间距隧道临近高压塔加固方案探讨	刘关华 何洪波	226

深基坑刚、柔性支护的综合运用	熊柯 白玉成	234
单侧墙可移动式模板及支架的设计与施工	资斌全 刘莹	241
地铁区间隧道下穿河流施工技术	刘关华	252
青岛地铁君~西区间隧道坍方原因分析及处理措施	王枫 曹平 赵忻	262

市政工程及桥梁

复杂地层情况下旋挖钻机成孔桥桩施工工艺探讨	晋伟 叶剑波	271
软基处理施工工艺	黄昱 黄西裕 刘建国	277
既有道路上高架桥施工与管理	晋伟 叶剑波	283
海工高性能混凝土在水下灌注桩施工中的特殊要点探讨	曹发亮 刘函	292
浅谈高压旋喷桩在填海垃圾场中的应用	何洪波 李绍才 钟雪	296
关于云南昆明新机场桥垮塌的思考	董长明 资斌全	308

工 程 设 计

大柳塔煤矿斜井扩硐工程数值模拟与监控测量	李胤铎 罗静 刁天祥	315
盾构管片内力计算方法及应用实例	陈飞成 徐晓鹏 卢致强	324
地铁车站施工竖井开辟多个工作面工序设计	张金伟 张美琴 董长明	332
浅谈地铁车站给排水及消防设计	邹薇	339
浅析地铁物业设计	申小兵	345
软土地层地铁盾构隧道近距离侧穿建筑物桩基影响研究	陈飞成 卢致强	350
地铁车站综合管线设计体会	周兴良	356
管棚预支护技术在浅埋暗挖过街通道中的应用研究	章玉伟 徐双龙	361
既有结构两侧不对称开挖的影响分析及工程对策	章玉伟 徐双龙	367
浅谈地铁车站动力与照明设计	薛飞	371
某地铁站基坑开挖支护与主体结构浇筑三维有限元分析	李胤铎 林旭明 范伟	375
地铁车站防排烟系统设计若干问题总结与探讨	曾玲玲 余松松	382
地铁明挖车站复合墙结构与叠合墙结构工程经济分析	刘元杰 林炳贝	390
对硬岩地层大跨度暗挖地铁车站开挖方法的安全性分析	程韬 曹平 刘建伟	396

城市地下工程施工中的马头门开挖技术

贺长俊 蒋中庸 崔志杰 刘昌用

【摘要】 本文对马头门的受力状况进行了分析,阐述了开挖前的加固措施,对矩形、圆形竖井开挖马头门的方法作了叙述,并分别对明挖结构的围护桩开挖马头门和从通道多个方向开挖马头门作了介绍。

【关键词】 马头门;加固环;加密钢架;圆形竖井;强洞口防偏压

Urban Underground Engineering Construction Ingate Excavation Methods

He Changjun, Jiang Zhongyong, Cui Zhijie, Liu Changyong

Abstract: this paper will make analysis of loading conditions of ingate, and statement of reinforcement measures prior to excavation, excavation method of rectangular & round shaft, including the introduction of ingate excavation.

Key words: Ingate; reinforcement rings; intensified steel structure; round Shaft; strong tunnel portal bias pressure prevention

马头门开挖一词,来源于矿山井巷施工。由于矿井直径较小,且与竖井相接的运输通道高度不大(一般巷道高度约在 4m 以内),为便于长大物件能顺利由竖井进入运输通道,常将连接竖井处的运输巷道加高成斜坡状,如图 1 所示。因为其形状如马头,因此把竖井开口处的施工称作开挖马头门。

城市地铁暗挖隧道施工中,与竖井相连的横通道高度一般均能满足下放长大物件设备需要,不必加高成斜坡状,虽然形不如马头,但仍沿用马头门开挖这一名词,而且,还把由竖井的横通道开口进入暗挖区间隧道、把从明挖的围护桩开口进入暗挖地段施工,也称马头门开挖。

马头门开挖改变了原结构的受力状态,如施工不当容易造成原结构的变形,增大地表

贺长俊:(1935—)教授级高工,住房和城乡建设部特聘专家。

蒋中庸:(1934—)教授级高工,铁道部有突出贡献科技专家。

崔志杰:(1940—)教授级高工,原北京市城建勘察设计院总工程师,长期从事地下工程设计和工法研究工作。

刘昌用:(1940—)高级工程师,享受政府特殊津贴,铁道部有突出贡献科技专家。现任中铁隆公司首席顾问。

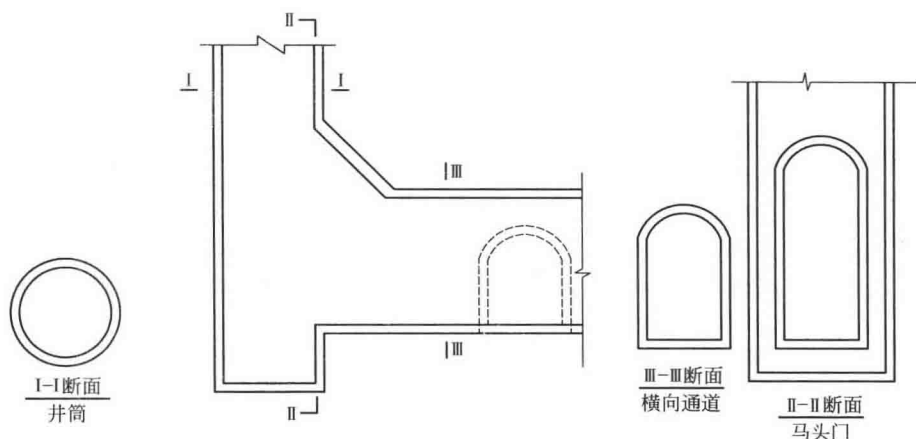


图1 矿井马头门示意图

的沉陷,严重时甚至引起结构破坏。因此,应根据其结构受力变化特点,选择合理的施工方法和施工顺序,并对结构给予必要的加强和支撑。

1 矩形竖井开挖马头门

1.1 受力特点

马头门开挖各阶段的受力状态如图2所示。

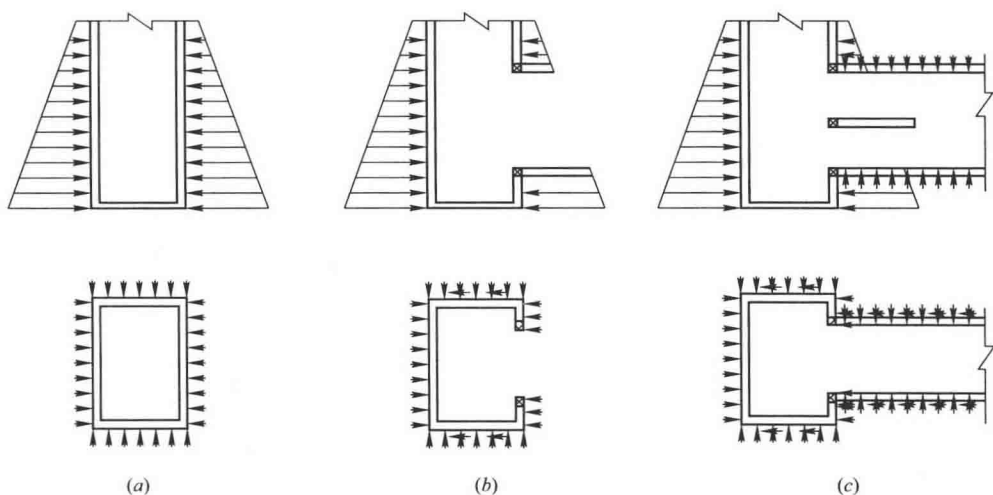


图2 马头门开挖各阶段受力示意图

在图2(a)中,尚未开挖马头门,竖井井筒处于承受周边均匀土压力的状态。在图2(b)开挖马头门后,洞口处井壁临空,不能提供土压力,井壁处在偏压状态。偏压力由在马头门两侧土压力而产生的摩擦力、洞口的支撑力和空间效应来平衡。所谓的空间效应

是指开口段上下的井壁及土体拱效应。如果上述的受力状态达不到平衡,则可能产生松弛和失稳,这是开挖马头门的最危险的状况。因此,应尽快施做洞口的支撑格栅框架,并于洞口对侧的井壁架设对撑,并施做一定长度的横通道以提供支撑力,建立新的平衡。必要时对马头门高度范围的土体进行超前加固,提高拱效应。以达到如图 2(c)所示的状态。

1.2 开挖前采取的措施

(1) 井壁加强和临时封底

由于空间效应,马头门开挖后,马头门上下方的竖井井壁受力增加,因此井壁在马头门开挖上下方和有临时仰拱位置密排钢架,一般为 2 榀;在开挖横通道时临时仰拱位置密排的钢架和喷混凝土不破除,开挖前竖井要先封底;必要时注浆进行壁后充填。

当马头门开挖的高度较高时,为避免搭设高的脚手架,也可以在井壁施工时预设牛腿,以供开挖上部台阶时搭设施工平台;也可在开挖一定深度进行临时封底后再开挖上层马头门。临时封底建议采用环形封底,如图 3 所示。

(2) 超前加固

为防止破除井壁后土体失稳,可根据情况,采用超前管棚或者和通道平行的单层或双层小导管注浆,其长度宜超过上台阶高度加 1m,必要时对土体进行环向注浆或上台阶全断面注浆。

(3) 施做加固环

为承受马头门开挖后井筒对马头门的侧压力,在开挖前应在其横通道的初期支护周边外施做加固环。加固环的做法目前有两种,一是在竖井施工时在井壁内做加固环;另一种是在井壁完成后,在井壁内侧做加固环,前者的加固环效果较好,后者施工方便。现仅介绍前者的施工方法,如图 4 所示。

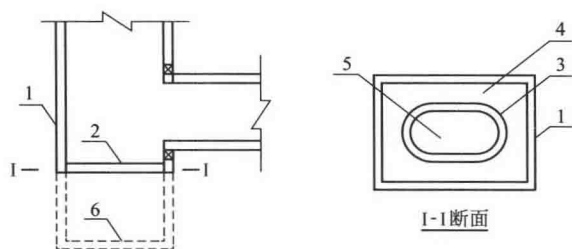


图 3 竖井临时封底示意图

1—井壁;2—临时封底;3—临时封底环形钢架;4—环形钢架外喷混凝土(厚度一般为 30cm);5—环形钢架内喷混凝土(厚度一般为 10~20cm);6—竖井底正式封底

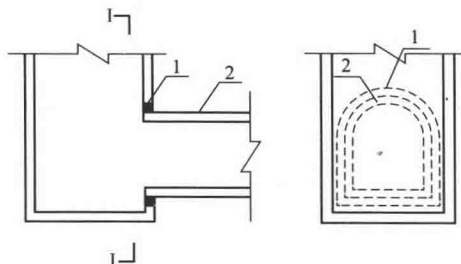


图 4 马头门加固环示意图

1—加固环;2—横通道初期支护

加固环由短节格栅钢架组成,随井壁施工,穿过井圈钢架,并焊接在其上,如图 5 所示。

当横通道高度不大时,加固环也可以做成矩形。

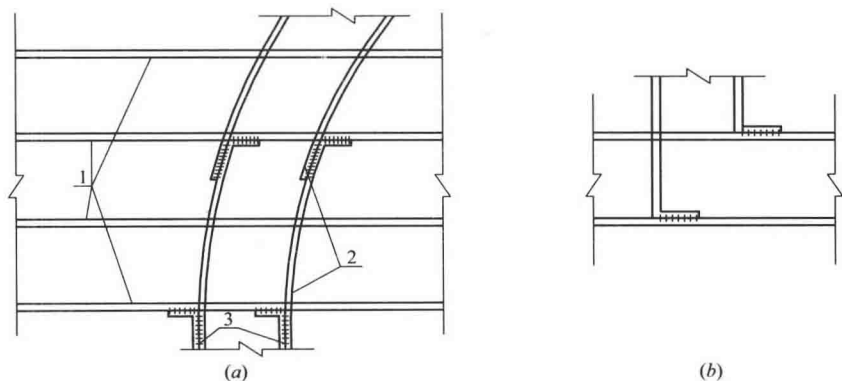


图5 加固环和井圈钢架连接侧视图

(a)边墙及拱部; (b)底部

1—井圈钢架主筋; 2—加固环主筋(4根); 3—焊缝

(4) 临时支撑

为平衡在开挖马头门时的井筒偏压, 必要时可采用图6的临时支撑方法。

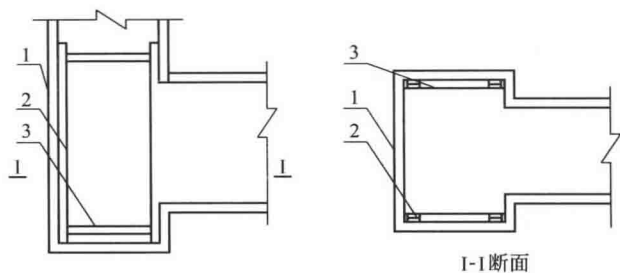


图6 临时支撑示意图

1—竖井井壁; 2—竖井工字钢支撑; 3—水平方向钢支撑

1.3 马头门范围内井壁破除和开挖

(1) 施工顺序

井壁破除应按通道的开挖顺序逐块破除, 在上部开挖的井壁破除向前开挖一段距离后, 再破除下部开挖的井壁, 并向前开挖。

兹以上下台阶开挖横通道为例, 阐述马头门破除和开挖顺序, 如图7所示。

(2) 施工要点

① 靠近马头门处加密钢架(一般密排2榀), 其中一榀在井壁内, 并不用破除的井圈钢架和喷混凝土为临时仰拱。

② 上下台阶开挖应在开马头门5m范围内增设临时仰拱。

③ 横通道开挖一定距离(一般大于10m)方可破除下部开挖的井壁进行下步开挖。

④ 横通道初期支护全部成环一定长度后方可拆除临时支撑。

⑤ 马头门开挖段井壁宜进行应力应变观测。

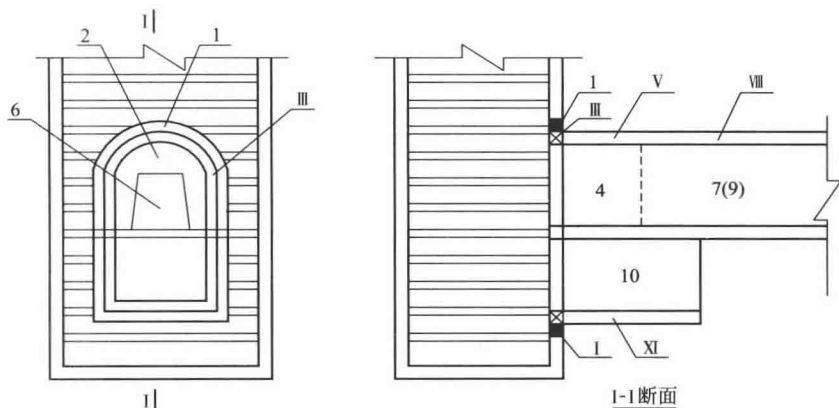


图7 马头门破除顺序

- I—在井壁施工时施做加固环；2—按上台阶环形开挖破除井壁；III—施做井壁内的上台阶初期支护；
4—上台阶环形开挖3~4m；V—施做上台阶初期支护；6—拆除上台阶核心部分井壁；7—继续向前
开挖上台阶；VIII—施做上台阶初期支护；9—上台阶开挖5~10m后拆除下台阶范围内井壁；
10—开挖下台阶；XI—施做下台阶初期支护

2 圆形竖井开挖马头门

圆形竖井的受力条件较好，但由于布置人行梯和开挖马头门困难，现在地铁很少采用。

圆形竖井开挖马头门有两种做法：一是将竖井马头门范围的断面过渡成方便开挖马头门的部分直线形，如图8所示，其开挖方法同前矩形断面竖井开挖马头门；另一种是不改变断面开挖马头门，但施工较复杂，其特点及施工方法如下。

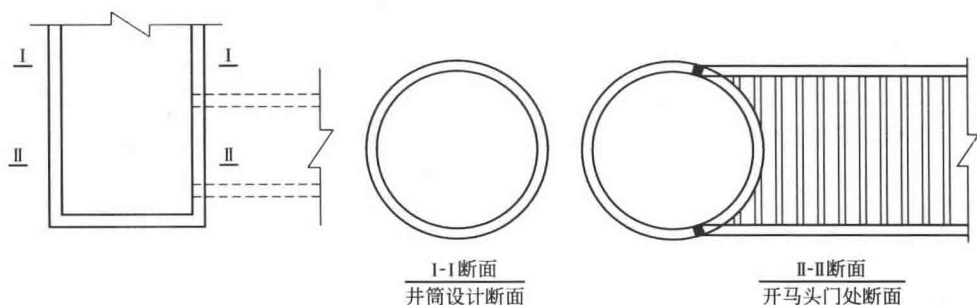


图8 在圆形竖井变断面开马头门

2.1 从圆形竖井开挖马头门的结构特点

圆形竖井开挖马头门的支护结构如图9所示。由于横通道伸入井筒内必须对部分井筒进行扩挖，这部分的横通道拱部钢架不闭合，而是焊接在割断的井筒钢筋上，底部不能封底，而是将其边墙的初期支护伸入未破除的井筒外；无法施做临时仰拱。

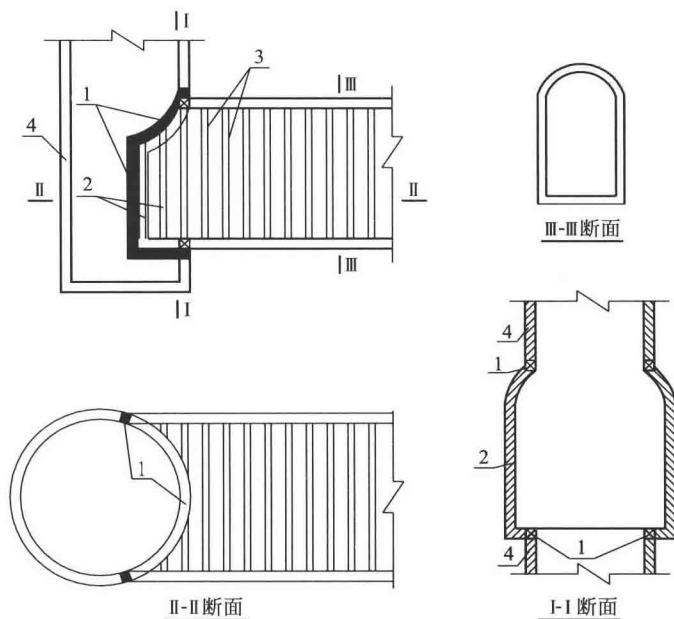


图9 圆形竖井开挖

1—加固环；2—通道伸入井筒的初期支护；3—井筒外的通道初期支护；4—井筒

2.2 开挖前采取措施

圆形井筒临时支撑较困难，一般均不采用，超前加固措施与矩形竖井相同。

(1) 井壁加强

小直径竖井和开挖高度不大的通道(例如尺寸小于6m)，除采用前述的加强措施外，一般利用空间效应进行开挖。当尺寸较大时则需对井壁进行特殊加强。如工期允许最好先完成马头门开挖上下各2m范围内的井筒二次初砌，再开挖马头门，这是最好的施工方案。不做二次衬砌开挖马头门应加大马头门上下一定范围内的井筒竖向筋直径，按规定焊接要求进行竖向筋的连接，使竖向筋成为受力钢筋，能将马头门内对方不平衡的侧压力分担到马头门上下的井筒上。

(2) 施做加固环

和矩形断面竖井的加固环不同，加固环不在同一平面上，边墙和拱部分加固环在井筒和横通道的相交线上，底部沿通道深入部分的井筒水平布置。

2.3 马头门范围内井壁破除和横通道开挖

如图7所示，在井筒范围内的横通道只有采用无临时仰拱的台阶法施工，井壁随施工顺序逐次破除。由于在井筒范围内左右需扩宽，因此施工分左右进行。现仍以横通道台阶法开挖为例说明其施工顺序，如图10所示。

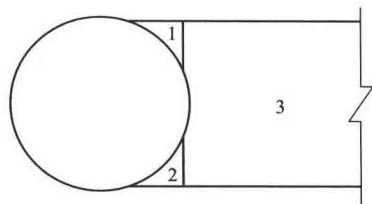


图10 上台阶开挖顺序图