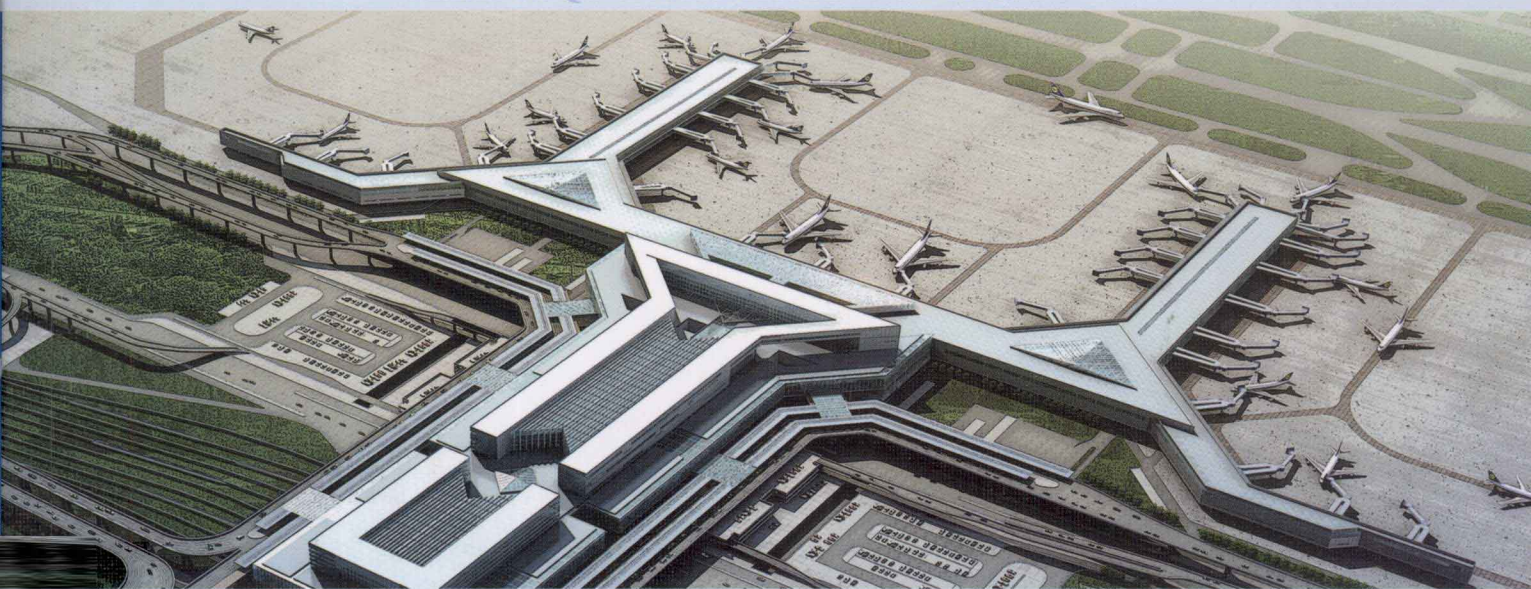


上海空港

虹桥系列丛书

HONGQIAO
GUOJI JICHANG

FEIXINGQU DIXIA CHUANYUE JISHU

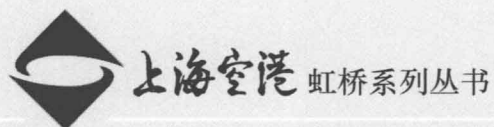


虹桥国际机场

飞行区地下穿越技术

主编 吴念祖

出版 上海科学技术出版社



HONGQIAO
GUOJI JICHANG FEIXINGQU
DIXIA CHUANYUE JISHU

虹桥国际机场飞行区地下穿越技术

主编 吴念祖



上海科学技术出版社



上海空港虹桥系列丛书

虹桥国际机场飞行区地下穿越技术

图书在版编目(CIP)数据

虹桥国际机场飞行区地下穿越技术/吴念祖主编. —上海:上海科学技术出版社,2010.2

(上海空港虹桥系列丛书)

ISBN 978-7-5478-0158-1

I. 虹... II. 吴... III. 国际机场—地下工程—工程施工—施工技术—上海市 IV. TU94

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 015650 号

上海世纪出版股份有限公司 出版、发行
上海科学技术出版社

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

苏州望电印刷有限公司印刷 新华书店上海发行所经销

开本 889×1194 1/16 印张 8.75 字数 186 千字 插页 2

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5478-0158-1/TU·24

印数:1—1 500

定价:98.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向承印厂联系调换

上海空港虹桥系列丛书
虹桥国际机场飞行区地下穿越技术

内容提要

本书论述了上海软土地区机场的地层特点和机场飞行区地下穿越工程的类型、特点及限制条件,介绍了上海轨道交通 10 号线、2 号线及仙霞西路隧道盾构下穿越虹桥国际机场飞行区的工程实例,较系统地论述了不同地下工程穿越工法的特点及适用性、地下穿越施工引起的变形与控制措施以及地下穿越施工的安全管理等飞行区下穿越工程的关键技术,详细介绍了机场飞行区盾构下穿越施工扰动影响因素、扰动机理及基于现场监测的信息化动态微扰动施工控制原理,并从地层与结构的加固技术、盾构施工工艺的改进与施工控制、微扰动施工的控制参数及特殊条件下开挖面的稳定技术等方面论述了机场飞行区盾构下穿越微扰动施工控制要点。此外,本书还对飞行区地下穿越工程在施工期和运营期的监测内容与方法、监测断面和测点布设、监测期限与频率、预警值与预警制度进行了介绍。

本书对机场飞行区地下穿越工程的业主、设计、施工、监测及监理单位的技术人员具有一定的参考价值,也可供大专院校相关专业师生参考阅读。

上海空港虹桥系列丛书
机场国际航站楼及公共建筑环境技术

编委会

封面题字

杨国庆

主编

吴念祖

副主编

李德润 刘武君

顾问编委

杨国庆 寿子琪 张光辉 刁永海 肖立元 钮晓鸣 何卫国 朱宁一
俞吾炎 陈 龙 汪光弟 应根宝 曹文建 蔡 军 徐玉龙 景逸鸣
王其龙 朱传松 胡建明 贾锐军 孙 立 张永东 姚亚波 沈 迪
许首珽 秦 云 徐 征 李永盛 王中东 蒋作舟 刘观昌 夏丽卿
叶可明 刘炳权 汪天翔 姚祖康 管式勤 Jeffrey Thomas(美)
Ben Hasselman(荷) 是枝孝(日) Tony Mills(英)

编委

(以姓氏笔画为序)

马兴发 王 杰 王 斌 王坤之 王晓鸿 冉祥来 付如刚 西绍波
华志坚 刘宝树 孙金科 李金良 吴庭毅 邱威尔 张志良 张海英
张敏珠 陈宏凯 范庆国 林 晨 林建海 金德雄 周水森 郑悦峰
赵 华 赵 青 姚 倩 贺胜中 秦灿灿 顾吉祥 柴震林 徐 晓
徐建初 郭 强 郭建祥 唐洁耀 康 建 章亚军 寇怡军 董红江

本书编著

王其龙 夏才初 贺胜中 丁文其 廖少明 张志良 柴震林
石 展 张 捷 米思兴 凌昌荣 马 骅 叶铁锋 马忠政

前言

上海是我国目前唯一拥有两座民用机场的城市。虹桥国际机场位于上海市西郊,它的前身是建于1921年的民国虹桥机场,1963年被国务院批准成为民用机场,之后迅速成为我国主要航空港之一,2008年旅客吞吐量达2 287万人次,位居全国第四位。浦东国际机场位于浦东新区长江入海口的滨海区域,1999年建成通航,是我国三大航空枢纽港之一,2008年旅客吞吐量达2 823万人次,位居全国第三位;货邮吞吐量达260万吨,位居全国第一、世界第三位。随着机场运量规模的不断增长,机场保障设施要求不断提高,虹桥、浦东两大机场都出现了飞行区地下穿越的需求。

飞行区地下穿越是一件极其复杂、风险系数很高的工程。无论在国内还是国外,飞行区地下穿越的案例都不多。美国巴尔的摩-华盛顿国际机场、美国杜勒斯国际机场、苏格兰爱丁堡机场、德国斯图加特机场以及中国台北松山机场、北京首都国际机场等几个机场进行过一些飞行区地下穿越工程的尝试,但是,像虹桥国际机场飞行区地下穿越工程那样直接贯穿繁忙运行跑道的情况,之前没有过先例。为此,在飞行区地下穿越的前期规划和方案选择时,我们就一直十分谨慎。

在此背景下,上海机场建设指挥部联合同济大学,自2004年开始启动了一系列科研课题的研究,并得到了上海市科委的重点支持,先后开展了浦东国际机场飞行区地下穿越可行性及控制条件研究(04dz12047)、软土地层飞行区地下穿越关键技术研究(062112051)、盾构微扰动穿越飞行区关键技术研究(07dz12006)等三个课题的研究。研究过程可以分为三个阶段:

第一阶段,飞行区地下穿越工程的可行性及控制条件研究。该课题已于2006年1月18日经专家组鉴定,成果达到国内领先水平,其中部分研究成果已应用于浦东国际机场规划修编之中。主要研究内容包括:

- (1) 针对浦东国际机场飞行区工程建设的实际情况,分析得出了机场飞行区共有5处存在地

下穿越的需求,然后根据机场飞行区施工的限制条件,对 5 处存在地下穿越需求的通道,进行了展线分析,从技术、经济角度分析了地下穿越的可行性。

(2) 结合台北松山机场、北京首都国际机场、上海中环线北虹路(虹桥路—虹古路)地道工程等几个已有地下穿越工程实例,对机场飞行区地下穿越控制条件如埋深、断面等进行了研究。

第二阶段,飞行区地下穿越关键技术研究。以虹桥国际机场扩建工程为契机,将浦东国际机场飞行区地下穿越课题的研究成果与虹桥国际机场扩建的地下穿越工程可行性研究相结合,将课题整合提升为“软土地层飞行区地下穿越关键技术研究”。该课题已于 2007 年 4 月 29 日通过了上海市科委组织的专家鉴定验收,成果达到国际先进水平。课题研究成果为轨道交通 10 号线、2 号线及仙霞西路穿越虹桥机场飞行区的规划选线和方案设计提供了指导,主要解决了以下技术难题:

(1) 在国内外率先以地上地下整体规划的思想,在充分考虑机场地面规划条件的前提下,对机场飞行区地下穿越通道进行了系统分析和规划。通过对浦东、虹桥国际机场飞行区地下穿越工程的实际情况分析,经过多方案的比选,论证了实施浦东、虹桥机场飞行区地下穿越工程的可行性。

(2) 创新性地研究了飞行区地下穿越工法的适应性。针对多种典型地下穿越工法,如盾构法、管幕法、管幕箱涵法、明挖法、浅埋暗挖法等,对其工艺特点及控制水平进行了对比研究,提出了各工法在软土地区机场地下穿越的适应条件,为飞行区地下穿越工法的选择提供了科学依据。

(3) 针对影响机场飞行区地下穿越的沉降问题,对各工法引起的沉降及其对飞行跑道道面的影响进行了分析,并提出了相应的控制措施。

(4) 通过对管幕箱涵法、盾构法等软土地层典型工法在不同埋深条件下沉降控制能力的比较,

提出了穿越跑道区域的隧道合理埋深建议。

(5) 针对穿越新老飞行区的建设时序问题,建议了地下穿越通道的最佳建设时机。

(6) 在国内首次针对飞行区地下穿越的特殊安全控制要求,从施工范围、施工时段、施工平面布置、施工安全控制等方面系统地提出了保障机场飞行区地下穿越安全的控制方法。

第三阶段,飞行区地下穿越工程实践研究。以上海虹桥国际机场扩建和虹桥综合交通枢纽建设为背景,结合轨道交通 10 号线、2 号线及仙霞西路盾构下穿越机场飞行区等三个工程实践案例,重点从施工、监测两方面进行分析研究。主要研究内容包括:

- (1) 机场飞行区盾构穿越微扰动机理及施工控制技术;
- (2) 机场飞行区变形监测技术与预警指标体系;
- (3) 运营期机场飞行区工后沉降监测要求及对策;
- (4) 对上海机场未来穿越方案的建议。

本书是在以上三个课题研究的基础上,结合轨道交通 10 号线、轨道交通 2 号线、仙霞西路穿越虹桥机场飞行区以及浦东机场垂直联络道地下穿越工程等四个工程的现场施工、监测数据,经进一步总结、梳理而成。这些研究成果及工程实际数据,为国内外类似工程建设积累了宝贵的数据资料和建设经验,对我国民用机场飞行区规划和地下穿越技术体系构建也具有一定的借鉴意义。书中不足之处,请专家、读者指正!

本课题负责人为吴念祖,成员包括:李永盛、刘武君、王其龙、贺胜中、夏才初、丁文其、廖少明、柴震林、石展、米思兴、凌昌荣、马骅、叶铁锋。课题研究和书稿编著过程中,孙钧、黄兴安、高振锋、杨我清、傅德明、姜昌山、王晓鸿等诸多民航、土木界专家学者提出了许多宝贵建议,并给予了悉心指导。上海机场建设指挥部、同济大学、上海申通地铁集团、上海城建(集团)公司、上海隧道股份有限公司、上海市第二市政工程有限公司、上海市隧道工程轨道交通设计研究院、上海市城市建

设设计研究院、上海地矿工程勘察有限公司、上海华东民航机场建设监理有限公司等多家单位提供了鼎力支持和全力协助。上海机场集团秦灿灿、杨宇亮也为课题开展和书稿编著做了大量工作。在此一并致以诚挚的感谢。

编 者

2009 年 12 月

目录

第1章 绪 论

1

1.1 引言	2
1.2 国内外机场地下穿越工程简介	2
1.3 虹桥国际机场飞行区地下穿越技术研究	9

第2章 机场飞行区地下穿越工程特点

11

2.1 软土地区机场地层特点	12
2.1.1 软土主要工程特点	12
2.1.2 上海虹桥机场工程地质特点	13
2.2 地下穿越通道的类型及流量需求	15
2.3 地下穿越工程建设限制条件	15
2.3.1 场地限制条件	15
2.3.2 地下管线限制条件	16
2.3.3 穿越工法适用性	16
2.3.4 机场运行限制条件	17

第3章

虹桥国际机场飞行区地下穿越工程案例

19

3.1	虹桥机场地下穿越工程概况	20
3.1.1	工程背景	20
3.1.2	地下穿越工程规划	21
3.2	轨道交通10号线下穿越虹桥机场飞行区工程	24
3.2.1	工程特点	24
3.2.2	主要施工控制措施	27
3.2.3	施工监测情况	29
3.3	轨道交通2号线下穿越虹桥机场飞行区工程	35
3.3.1	工程特点	35
3.3.2	主要施工控制措施	38
3.3.3	施工监测情况	38
3.4	仙霞西路隧道下穿越虹桥机场飞行区工程	39
3.4.1	工程特点	39
3.4.2	主要施工控制措施	41
3.4.3	施工监测情况	43
3.5	穿越工程总结	45

第4章

机场飞行区地下穿越方案研究

47

4.1	地下穿越工法及适应性	48
4.1.1	浅埋暗挖法	48
4.1.2	管幕法	51
4.1.3	盾构法	55
4.1.4	明挖法	58
4.1.5	各工法适应性比较	58
4.2	地下穿越方案变形分析与控制措施	59
4.2.1	盾构法地表沉降分析	59
4.2.2	盾构法地表沉降控制	61
4.2.3	管幕箱涵法地表沉降分析	62
4.2.4	管幕箱涵法地表沉降控制	64

4.2.5	明挖法地基不均匀变形处理	64
4.3	地下穿越通道的埋深设置	65
4.3.1	明挖法地下通道埋深	66
4.3.2	管幕箱涵法地下通道埋深	66
4.3.3	盾构法地下通道埋深	67
4.4	地下穿越施工安全管理	68
4.4.1	管理目标	68
4.4.2	施工安全管理体系	69

第5章

机场飞行区地下穿越工程微扰动施工技术

73

5.1	地下穿越工程扰动机理	74
5.1.1	盾构施工扰动引起的地表变形特点	74
5.1.2	盾构施工引起的土体变形范围分析	75
5.1.3	土体扰动因素的力学机理	75
5.1.4	盾构施工扰动的影响因素	77
5.2	机场跑道道面变形控制标准	78
5.2.1	道面变形控制相关规定	78
5.2.2	道面变形标准分析	78
5.2.3	分析小结	80
5.3	地下穿越工程微扰动施工控制	80
5.3.1	微扰动控制原理和方法	80
5.3.2	微扰动施工参数及其影响	81
5.3.3	微扰动施工工法与参数控制	91

第6章

机场飞行区地下穿越工程监测

97

6.1	概述	98
6.2	监测项目及其监测方法	98
6.2.1	监测方案设计	98
6.2.2	监测项目的确定	99
6.2.3	地表沉降监测	100

6.2.4	土体分层沉降和孔隙水压力监测	106
6.2.5	隧道沉降与变形监测	107
6.2.6	水土压力和隧道结构内力监测	109
6.3	监测的实施	111
6.3.1	监测断面和测点位置的确定	111
6.3.2	监测期限与频率	114
6.3.3	预警值与预警制度	115
6.4	运营期监测	115
6.4.1	穿越工程运营对地表沉降影响因素分析	115
6.4.2	运营期监测的目的	116
6.4.3	运营期监测要求	117
6.4.4	监测资料管理与预警机制	117

第7章 结语与展望

119

7.1	结语	120
7.2	展望	121

参考文献

123

第 1 章

绪 论

1.1 引言

上海虹桥国际机场(简称虹桥机场)位于上海市长宁区,距上海市中心约 10.7 km,距浦东国际机场约 42 km。虹桥机场作为上海市第二大机场,在浦东机场通航前(1998 年)的年起降架次已经达到 13 万架次,接近一条跑道满负荷的容量,旅客吞吐量远远超过了其 960 万的设计容量。1999 年浦东机场通航后,运营压力有所缓解,但是随着上海市以及全国航空运输业的飞速增长,近几年的运营压力又持续攀高。目前虹桥机场的所有运营设施都处于超负荷运转状态,基础设施的服务能力和运营增长之间的矛盾十分突出。根据上海航空枢纽发展战略,上海机场(集团)有限公司适时启动了虹桥机场总体规划的修编工作。根据调整后的虹桥机场总体规划,在机场西侧将新建第二条跑道和二号航站楼,同时根据上海市总体规划,机场西面将建成我国最大的综合交通枢纽,该枢纽将汇集航空、高速铁路、磁浮、城市地铁及其他公共交通方式。

同时,我国正处于民航业迅猛发展的时期。到 2020 年,我国将再建设约 150 个民用新机场,并对大批民用机场进行改建和扩建。由于我国机场在以前的规划中,大部分没有预留地下通道,因而许多机场存在飞行区内地下穿越的潜在需求。

1.2 国内外机场地下穿越工程简介

国外机场飞行区实施过地下穿越的工程有:美国巴尔的摩-华盛顿国际机场暴雨管排水工程(顶管法施工),苏格兰爱丁堡机场铁路线地下穿越跑道工程(顶管法施工),美国拉斯维加斯地下通道工程(明挖法施工),美国杜勒斯国际机场旅客捷运系统(新奥法施工),以及德国斯图加特机场工程(喷射混凝土施工)等。

中国台北松山机场市政道路下穿跑道工程施工之前,台北市大直与内湖一带进出市区的车辆均通过大直桥跨越基隆河,而大直桥与市区之间又有松山机场阻隔,必须绕行,交通非常不便。因此,新建南北交通干道成为当时市政部门的当务之急。台北松山机场市政道路下穿跑道工程沿台北市复兴路北行,在民族东路口前从地下穿越松山机场跑道及滑行道,在机场北侧的滨江街口前出地面与现有的大直桥引道衔接,位置如图 1-1 所示。地下通道宽 22 m,设双向 4 车道,仅供汽车行驶。地下道全长 1 037 m,分为:① 民族东路口以南的引道,长 445 m;② 穿越机场的地下道,长 519 m,其中有 505 m 在机场范围内,如图 1-2 所示;③ 自机场北侧至滨江街口,连接大直桥北端的引道,长 73 m。松山机场原状土参数见表 1-1。

表 1-1 松山机场原状土参数

序 号	土层分类	层底深度(m)	重度(kN/m ³)	内摩擦角(°)	不排水剪强度(kPa)
1	CK	4.4	18.5	30	26
2	SM	7.0	19.2	32	—
3	CL	16.2	18.6	29	28

(续表)

序 号	土层分类	层底深度(m)	重度(kN/m ³)	内摩擦角(°)	不排水剪强度(kPa)
4	CL	25.0	18.6	29	38
5	CL	35.0	19.0	30	60
6	CL	45.0	19.0	31	80
7	CL	56.0	20.0	32	128

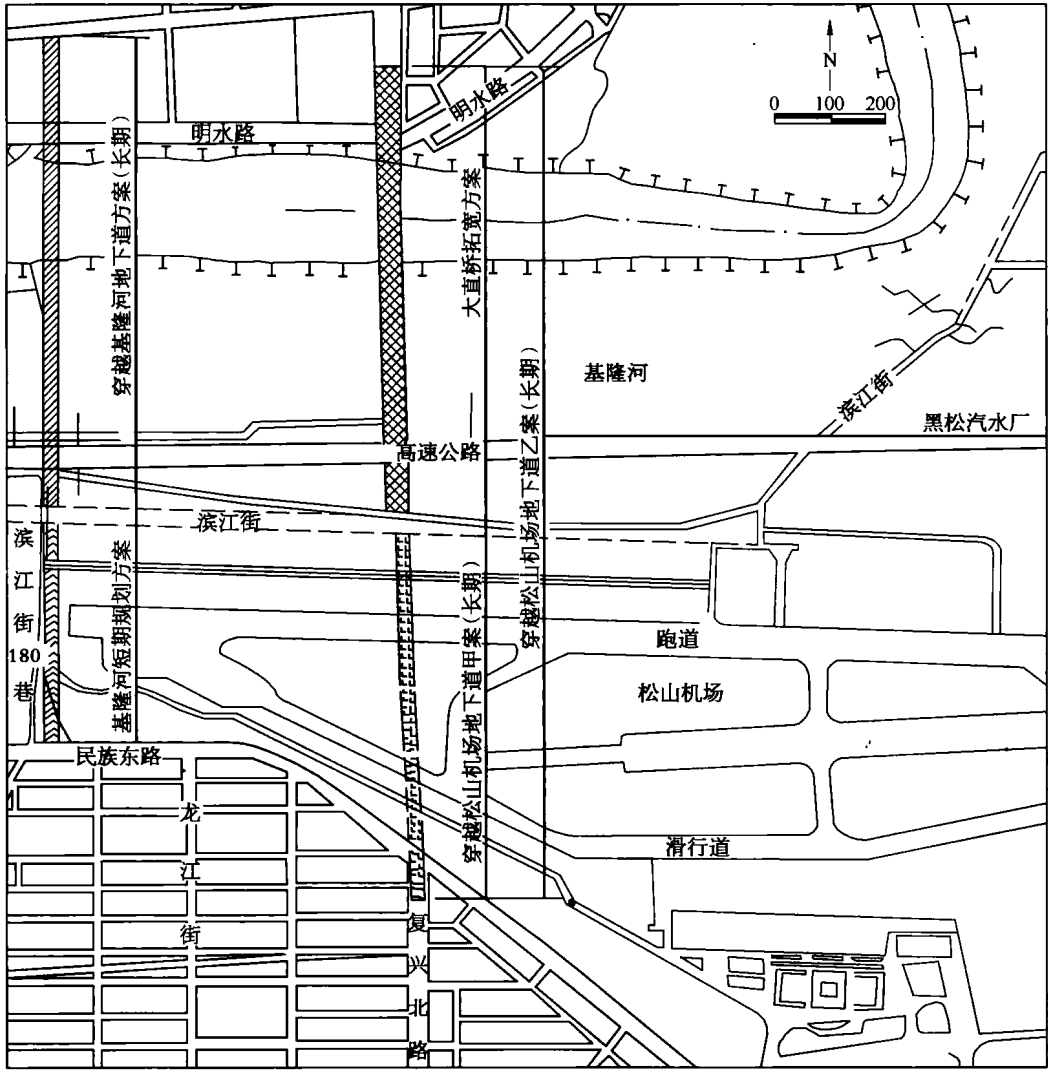


图 1-1 台北松山机场穿越工程示意图

根据穿越地段的不同位置,同时配合纵剖面坡度及施工设备材料运送,地下通道穿越机场段共设有 5 个工作井,见图 1-3。D 与 E 工作井之间穿越 60 m 宽机场跑道,需控制跑道地表沉降量。该段施工时,在两侧距离跑道边线外 20 m 设置工作井,采用无限自走结构体推进工法(ESA 工法)施工,推进距离 103.5 m。由于机场跑道中线两侧 150 m 范围之内不允许地面作业,而工作井 D、E 离跑道只有 20 m,因此工作井施工集中在晚上飞机休航后进行,待工作井施工完毕,并且在上部覆盖顶板后再在白天进行地下穿越施工。C 与 D 工作井之间长 77 m,采用管幕支护传统方

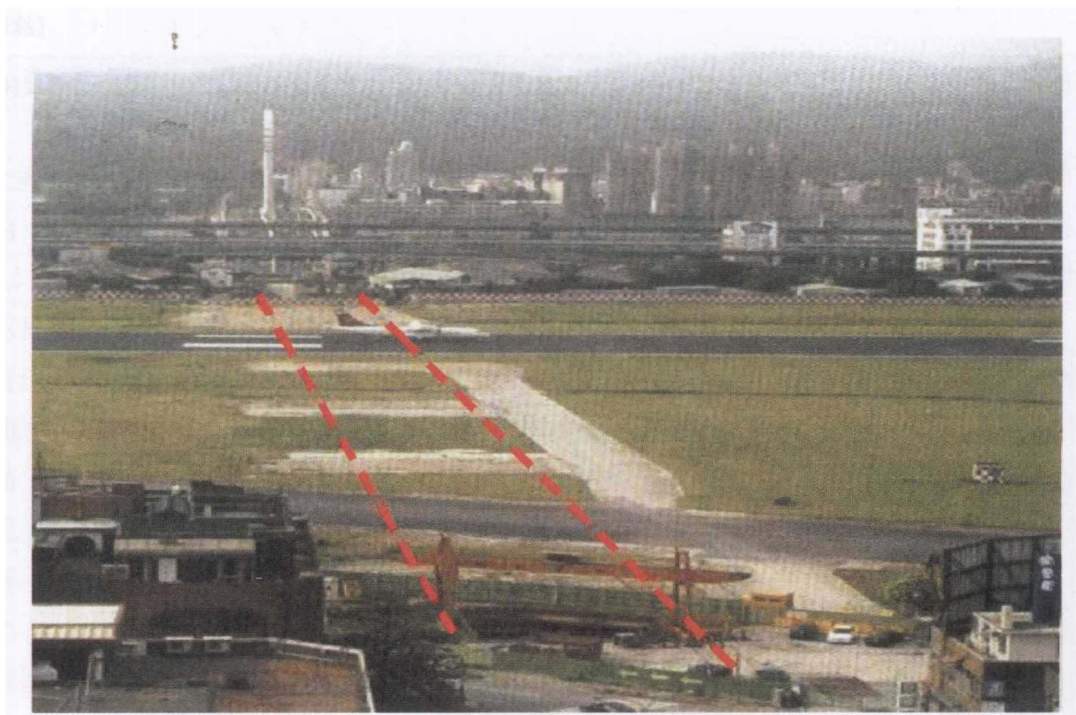


图 1-2 松山机场地下穿越线路示意图

法开挖。其余穿越部位均采用覆盖逆筑工法施工。地下道路段因受覆土深度限制并配合引道宽度而设计为双孔混凝土箱涵,其断面设计如图 1-4 所示,在箱涵中间设有一道 1.0 m 宽的隔墙。除车道外,在两侧各设有 1.0 m 宽维修步道及 1.0 m 宽通风管道。箱涵结构内部高度 5.3 m,道面铺设沥青混凝土后净高为 5.0 m。道面以 1.5% 坡道外斜,两侧在维修步道设排水沟。

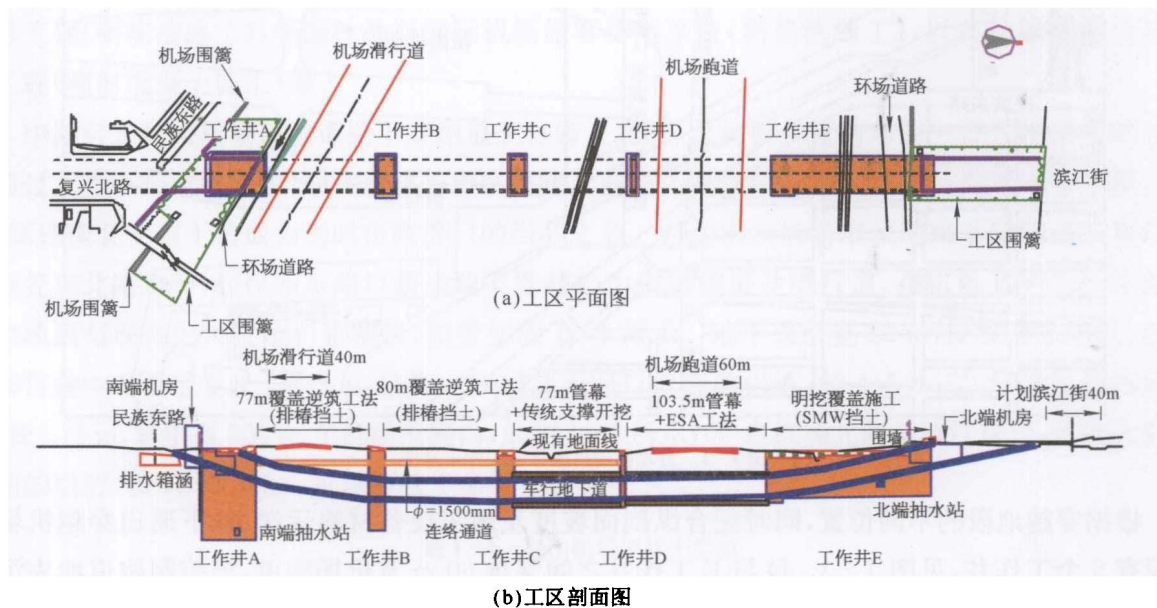


图 1-3 松山机场地下穿越工程剖面图

北京首都国际机场西跑道是国际航班起降的主要跑道,连接西跑道与四号停机坪及二号停机坪的 L 滑行道是机场最繁忙的滑行道之一,滑行架次多,交通调度繁忙。同时,它不仅承担飞机的