



# 信息通告

中国民用航空局机场司

---

编 号：IB-CA-2019-02

下发日期：2019年11月22日

## 飞机荷载桥梁在机场工程中的应用

---

## 前 言

为贯彻落实“平安、绿色、智慧、人文”四型机场建设发展理念，节约建设用地，保护生态环境，进一步拓展规划设计思路，借鉴海外机场工程的有关建设经验，机场司组织成立编写组，依托2019年度民航安全能力建设资金项目“机场航空器荷载桥梁安全性设计与评定技术研究”，整理翻译了欧洲、美国、日本等国家和地区机场跑道桥的文献资料，梳理统计了中美两国滑行道桥的基本情况，编写完成本信息通告，供相关单位在机场规划设计和施工时参考。

主编单位：中国民用航空局机场司

中交公路规划设计院有限公司

参编单位：长安大学

民航机场规划设计研究总院有限公司

民航专业工程质量监督总站

主 编：郑 斐 刘晓东

参编人员：贺拴海 佟岱山 李国文 翟慧娜 闫 磊

李文杰 李会驰 赵君黎 刘晓娣 邱团结

孟宪锋 滕启杰 郭东尘

主 审：周海涛 张光辉

审查人员：韩振勇 秦大航 马 力 姜昌山 徐 栋

侯 斌 袁 洪 姚荣学 钟 斌 肖 锋

张 超

# 目 录

1 概 述.....	1
2 克里斯蒂亚诺·罗纳尔多国际机场.....	2
2.1 机场简介.....	2
2.2 项目概况.....	4
2.3 桥梁结构.....	6
2.4 荷载.....	10
2.5 结构分析.....	11
2.6 拦护装置.....	11
3 日本东京羽田国际机场.....	16
3.1 机场简介.....	16
3.2 项目概况.....	17
3.3 桥梁结构.....	19
3.4 连接段.....	26
3.5 联络滑行道.....	30
3.6 试验验证.....	31
4 美国亚特兰大国际机场.....	33
4.1 机场简介.....	33
4.2 项目概况.....	33
4.3 桥梁结构.....	34
4.4 荷载.....	36

4.5 施工.....	36
5 其他机场跑道桥.....	38
5.1 劳德代尔堡-好莱坞国际机场.....	38
5.2 孟菲斯国际机场.....	39
5.3 荷兰阿姆斯特丹国际机场.....	41
5.4 巴黎戴高乐国际机场.....	42
5.5 巴黎奥利机场.....	44
5.6 伦敦希思罗国际机场.....	45
6 滑行道桥.....	56
6.1 美国机场滑行道桥.....	56
6.2 我国机场滑行道桥.....	56
7 总结与建议.....	69
7.1 跑道桥.....	69
7.2 滑行道桥.....	69
附录 A 美国机场滑行道桥统计资料.....	70
附录 B 我国机场滑行道桥统计资料.....	72
参考文献.....	76

# 1 概 述

截至 2019 年 11 月 21 日，我国境内（不含港澳台地区）颁证运输机场共有 238 个。根据《新时代民航强国建设行动纲要》，2035 年我国运输机场将达到 450 个。

我国民用机场除了巨大的建设需求，同时也面临着新的形势。一方面，部分吞吐量已经饱和的大型枢纽机场亟需增建新的跑道，受到周围既有基础设施和建设用地的限制，跑道或滑行道需要解决与现有和规划的公铁路网、河流、管线等相交的问题。另一方面，位于山区、滨海受地形地貌限制的部分新建和改扩建机场，建设用地难以满足使用需求，传统的高填方和围填海造地等方式存在着工程量大、环境影响大等问题。在跑道、滑行道建设时部分采用桥梁结构，是解决上述问题的一种可选方案。

滑行道桥在国内外应用广泛。跑道桥虽然在国内尚未有应用实例，但是在欧洲、美国、日本等国家和地区都有成功应用的案例，如葡萄牙克里斯蒂亚诺·罗纳尔多机场、日本东京羽田机场、美国亚特兰大机场、劳德代尔堡-好莱坞机场、荷兰阿姆斯特丹机场，法国巴黎戴高乐机场等，伦敦希思罗机场拟建的三跑道也有跑道桥和滑行道桥的规划。

调研表明，飞机荷载桥梁在荷载作用、结构形式、运行需求等方面有其自身特点。本信息通告对典型的跑道桥和滑行道桥工程案例进行介绍。

## 2 克里斯蒂亚诺·罗纳尔多国际机场

### 2.1 机场简介

克里斯蒂亚诺·罗纳尔多国际机场（图 2-1），又称马德拉国际机场或丰沙尔机场，位于葡萄牙马德拉岛，是葡萄牙第四大繁忙机场。机场以马德拉足球运动员克里斯蒂亚诺·罗纳尔多命名。



图 2-1 克里斯蒂亚诺·罗纳尔多国际机场

罗纳尔多机场于 1964 年建成启用，跑道长 1600m，机场周围是高山和海洋。因为位置特殊以及跑道长度较短，该机场被认为是世界上最危险的机场之一，飞行员必须接受专门训练才能在该机场起降。

1977 年 11 月 19 日，葡萄牙泰普航空公司 425 号班机在罗

纳尔多机场着陆时，由于机组试图在强风、暴雨和低能见度的情况下强行降落，导致飞机在超过跑道起始点 610m 后接地，并开始打滑，尽管机组启动了最大反向推力、扰流板和制动措施，最终飞机以 43 节的速度冲出跑道，坠落在海岸上爆炸解体。事故造成机上 164 人中 131 人遇难。425 航班事件 8 年后，机场将跑道延长 200m，跑道长度达 1800m。

随着旅游需求的持续增长，跑道需要进一步扩建。由于地理环境的限制，为了增加跑道长度，提高降落安全性，必须将跑道向海洋延伸。跑道延长采用了桥梁结构取代传统的填海造地方法，将跑道由 1800m 延长到 2781m（图 2- 2 ~ 图 2- 3）。1995 年 3 月设计工作开始，2000 年 2 月主体结构完工，7 月跑道工程全部完工，9 月 15 日正式投入使用。

2004 年，国际桥梁与结构工程协会因其创新性的解决方案授予该项目杰出结构奖，对项目的评价是：无论设计还是建造均考虑了环境因素，同时又不失美感。



图 2- 2 罗纳尔多国际机场跑道（一）



图 2- 3 罗纳尔多国际机场跑道（二）

## 2.2 项目概况

马德拉岛由火山形成，山谷狭窄，几乎没有平原。此次罗纳尔多机场扩建时，曾对多个地点进行了调研，最终认为原有机场仍是最佳选址。

罗纳尔多机场位于马德拉岛南部海岸，平均海拔 57m。在原跑道东北部水深不超过 14m 的浅水湾区（图 2- 4），采用桥梁结

构分两期将跑道从 1800m 延长到 2781m, 可供波音 747-400 起降。扩建桥梁全长 1008m, 全宽 189m。预应力混凝土桥面板宽 178m, 由 31 排门式刚架支撑。结构平面和立面布置见图 2- 5 和图 2- 6。扩建工程充分考虑了野生动植物的保护需要。



图 2- 4 海湾地貌

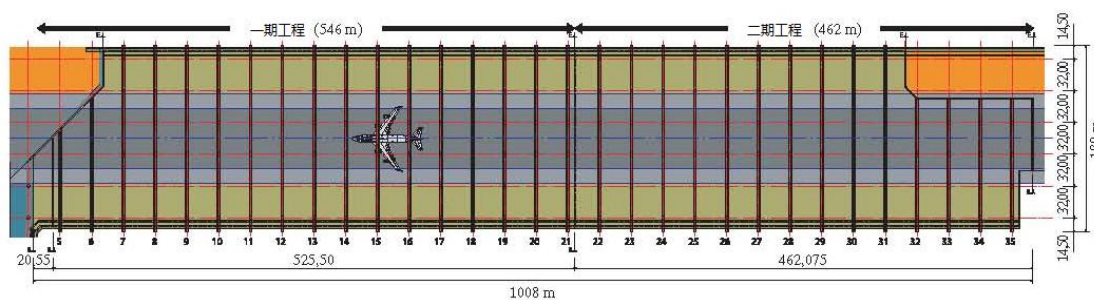


图 2- 5 结构平面布置

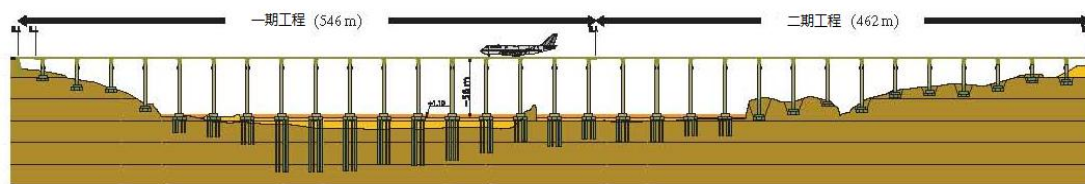


图 2- 6 结构立面布置

## 2.3 桥梁结构

桥梁采用预应力混凝土连续刚构，纵向布置为  $(31 \times 32)$  m。主梁为变截面，跨中 12m 范围内厚 1m，桥墩处厚 1.7m(图 2-7)。桥梁两端墩高较小的区域，根据需要在墩顶设置了活动支座(图 2-8)。



图 2-7 跑道桥侧面照片



图 2-8 支座细节

下部结构为 6 柱门式刚架盖梁，柱间距 32m，两侧外悬臂各

长 14.5m (图 2- 9)。盖梁采用预应力混凝土结构，其高度呈抛物线变化，截面尺寸详见图 2- 10。建成后的门式刚架见图 2- 11。

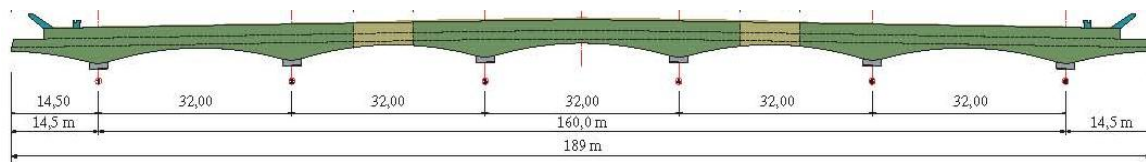


图 2- 9 门式梁

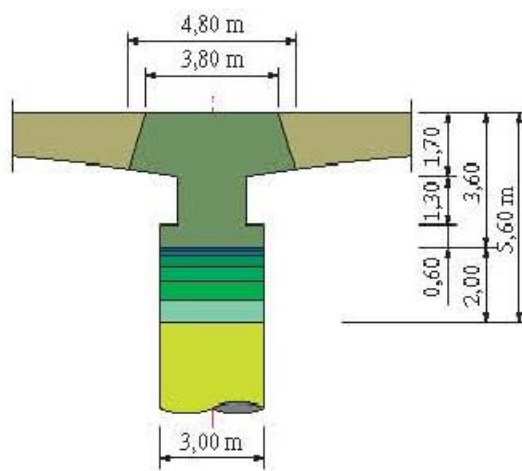


图 2- 10 门式梁横断面



图 2- 11 建成后的门式刚架

桥墩采用钢筋混凝土圆柱式墩结构，直径为 3m。桥墩高度随地形变化，一般高度为 50m（图 2- 12）。



图 2- 12 填海围垦地上的桥墩（施工中）

桥梁采用扩大基础或钢筋混凝土灌注桩。位于高承载力土层处，采用扩大基础。扩大基础下层采用八边形，高 2.5m，面积  $93\text{m}^2$ ；上层采用圆柱形，直径 8m，高 2.2m。位于土层承载力较差处，采用 8 根直径 1.5m 的钢筋混凝土圆柱桩，按圆形排列，深入火山灰层达 58m。桩群的半径为 5.7m，桩帽形式与扩大基础类似，下层采用八边形，高 3m，面积  $134\text{m}^2$ ；上层采用圆柱形，直径 8m，高 2.5m。

桥梁起始处挡土墙、一期结构与二期结构均设置伸缩装置（图 2- 13），允许各联结构独立工作，以适应收缩、徐变、温度和地震效应。



图 2- 13 伸缩装置

施工阶段，重点关注了下列问题：

- (1) 减小收缩和徐变产生的不利效应；
- (2) 将施工组织及预应力阶段与结构、跑道、掉头坪和安全边界等不同区域相匹配，以优化预应力需求；
- (3) 达到最快的施工速度（图 2- 14 和图 2- 15）；
- (4) 取得最大的经济效益。



图 2- 14 门式梁施工



图 2- 15 桥面板施工

## 2.4 荷载

根据参考文献 1，设计荷载采用波音 747-400，16 个轮胎布置成四个四轮轮组，总重最大为 3960kN（图 2- 16）。根据桥面板区域的不同，考虑了不同的动力系数（表 2- 1）。

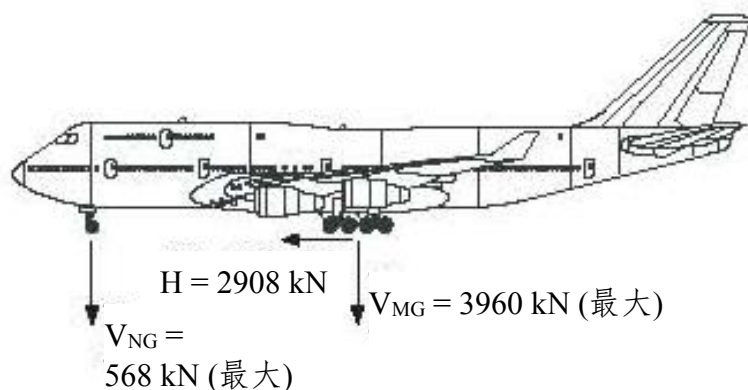


图 2- 16 设计荷载

表 2- 1 动力系数

区域	荷载状况	动力系数
Runway (跑道)	频遇	$\omega=1.5$
	罕遇	$\omega=2.0$
	偶然	$\omega=3.0$
Turning Area (掉头坪)	频遇	$\omega=1.4$
	罕遇	$\omega=1.4$
	偶然	$\omega=3.0$
Berm Area (升降带平整区)	频遇	$\omega=0.0$
	罕遇	$\omega=1.4$
	偶然	$\omega=3.0$

为了确定可能发生的地震震级，对该地区的地震活动进行了研究。另外，还研究了现场太阳辐射和气象条件下混凝土结构温度梯度的变化。

## 2.5 结构分析

有限元方法结构分析结果表明，由于其受力特点，结构刚度大，且对耐久性有特别要求，正常使用极限状态控制设计。结构完工后，通过静、动载试验验证了数学设计模型。

## 2.6 拦护装置

为了降低飞机起降过程中偏出跑道坠落的风险，跑道桥两侧距跑道中心线 85m 处设置了特殊的拦护装置。图 2- 17 是跑道桥拦护装置的现场照片。拦护装置由内侧的隔离墩（高 1.15m，厚 1.0m）和位于其后 3.25m 处的第二道外倾墙（倾角  $45^\circ$ ，长 2.5m）组成。



图 2- 17 拦护装置

为了分析拦护装置的有效性，开展了如下研究：

（1）对 1990-1999 年全球所有的飞机冲偏出跑道事故进行了统计分析，确定发生事故的原因；

(2) 基于最常见的事故原因, 使用 TAP (葡萄牙航空公司) 空客模拟机进行了研究。采用统计分析确定的事故类型, 模拟了飞机在着陆和起飞过程中遇到强侧风、刹车、起落架或发动机故障、湿滑道面等情况, 以确定飞机对拦护装置的撞击速度和角度;

(3) 与空客设计人员座谈, 了解飞机在撞击拦护装置时未发生爆炸情况下的结构性能, 主要包括发动机、起落架及其与机体连接的结构性能;

(4) 基于上述研究结果, 采用商用飞机的 1/50 物理模型(图 2-18) 进行了缩尺试验 (使用弗鲁德条件)。试验跑道模型长 18m, 在跑道末端安装拦护装置。试验考虑了飞机模型在不同速度 (60 km/h、120 km/h) 和迎角 ( $30^{\circ}$ 、 $60^{\circ}$ 、 $90^{\circ}$ ) 下撞击拦护装置的情况, 并且考虑了起落架或发动机与机体连接最终破坏的情况 (图 2-19 ~ 图 2-22)。

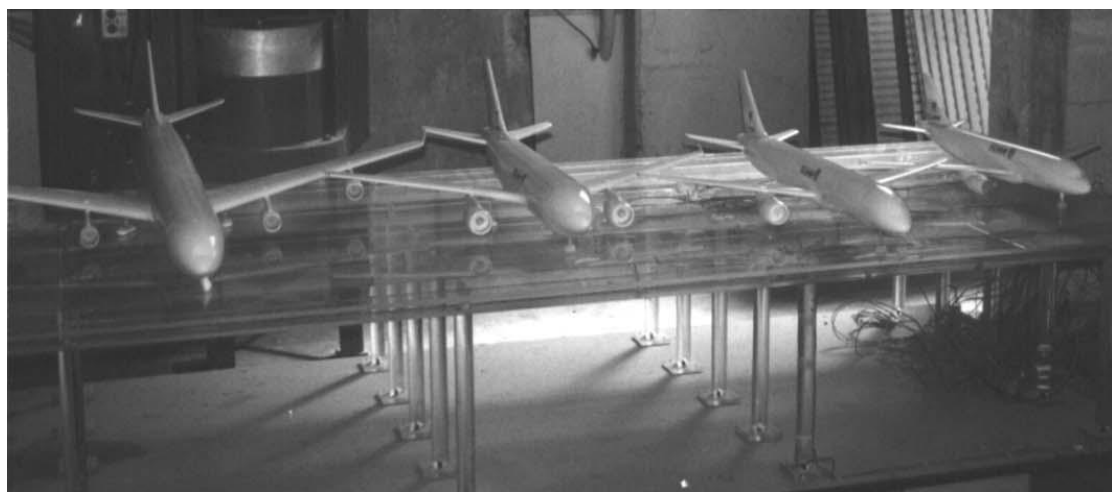


图 2-18 试验用的缩尺模型



图 2- 19 包括可调节拦护装置的跑道模型



a) 引擎首先撞击      b) 引擎和起落架同时撞击      c) 起落架首先撞击

图 2- 20 飞机撞击拦护装置的不同部位

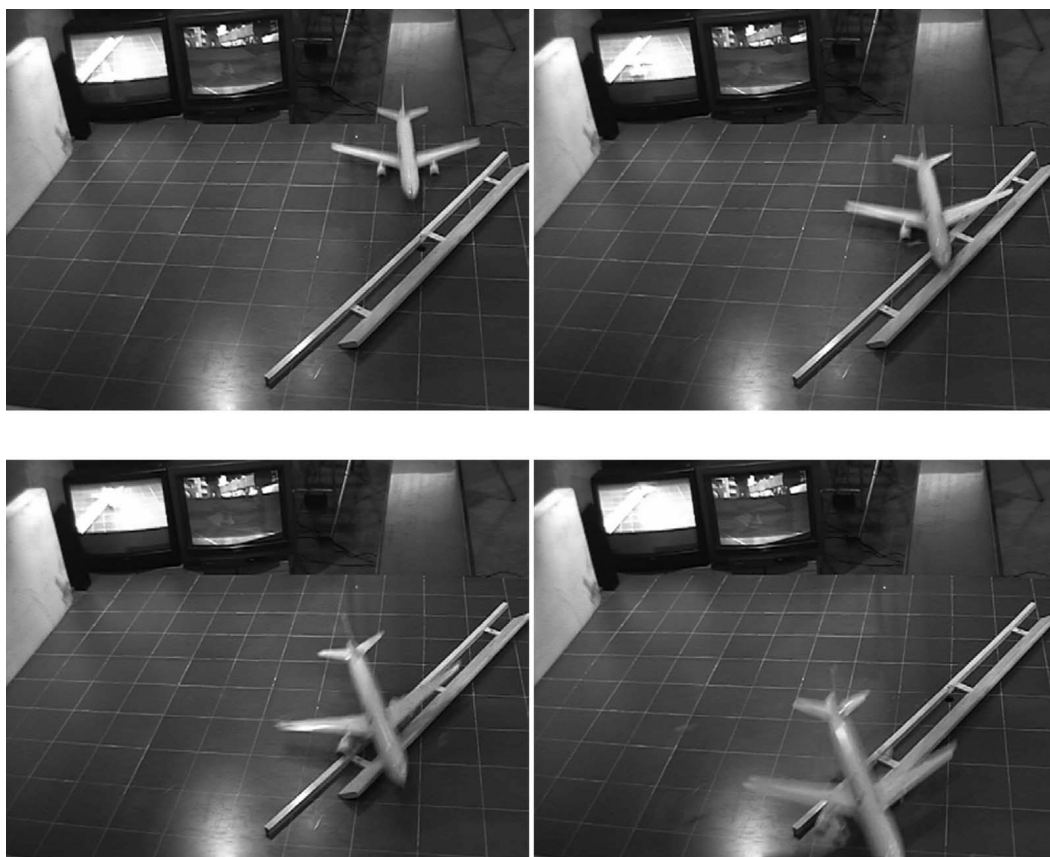


图 2- 21 试验 4 号录像带的照片集：A320；撞击角度 30° ；撞击速度 20km/h



图 2- 22 飞机模型撞击拦护装置时的破坏过程：飞机接触隔离墩，前起落架断裂，第一台发动机越过隔离墩，机体底部接触外倾墙，第一台发动机越过外倾墙

试验主要结论如下：

(1) 当飞机模型的起落架撞击隔离墩时，前起落架断裂，飞机机头接触隔离墩上部并在其上滑动。速度较小时，发动机与隔离墩碰撞并使飞机停止；速度较大时，发动机与机体的连接断

裂，飞机越过外倾墙（图 2- 22）。发动机与机体的连接强度是阻止飞机坠落的决定性因素。

（2）当撞击速度小于 60 km/h、撞击角度小于  $45^\circ$  时，拦护装置能有效地将所有飞机限制在跑道内。

（3）当撞击角度为  $30^\circ$ ，撞击速度为 120 km/h 时，对于 A320、A310 和 B757 飞机而言，拦护装置也是有效的。

## 3 日本东京羽田国际机场

### 3.1 机场简介

东京羽田国际机场（Tokyo Haneda International Airport）（图 3-1）位于日本东京都大田区东南端多摩川河口的左岸。羽田机场始建于 1931 年，之后进行了多次扩建及重建。海上扩建项目始于 1984 年，扩建后羽田机场共有三条跑道（A、B 和 C 跑道）运行。

由于旅客数量日益增加，加之对于增加国际航线的需求日益强烈，2006 年 3 月至 2010 年 10 月，羽田机场再次进行扩建，在原有三条跑道的基础上，距离机场岛 600m 的近海修建了第四条跑道，即 D 跑道。D 跑道通过一条长 620m 的联络桥与既有 3 条跑道的机场岛连接。

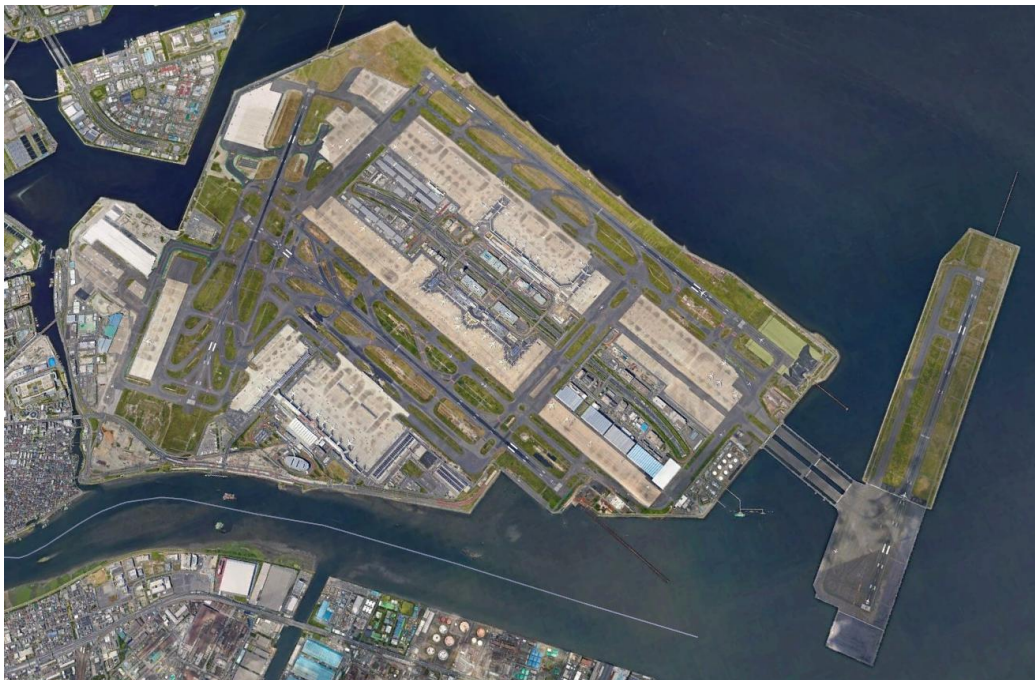


图 3-1 东京羽田国际机场

### 3.2 项目概况

D 跑道工程建设采用设计施工总承包的模式，工程承包合同包含了建成后 30 年的养护管理。规划 D 跑道项目时，“羽田机场海上扩建工程方案评估委员会”提出“桥梁结构”“桥梁-填海组合方式”“漂浮结构”三种方案，最终选择了“桥梁-填海组合方式”。该项目于 2007 年 3 月开始施工，2010 年 10 月投入使用。

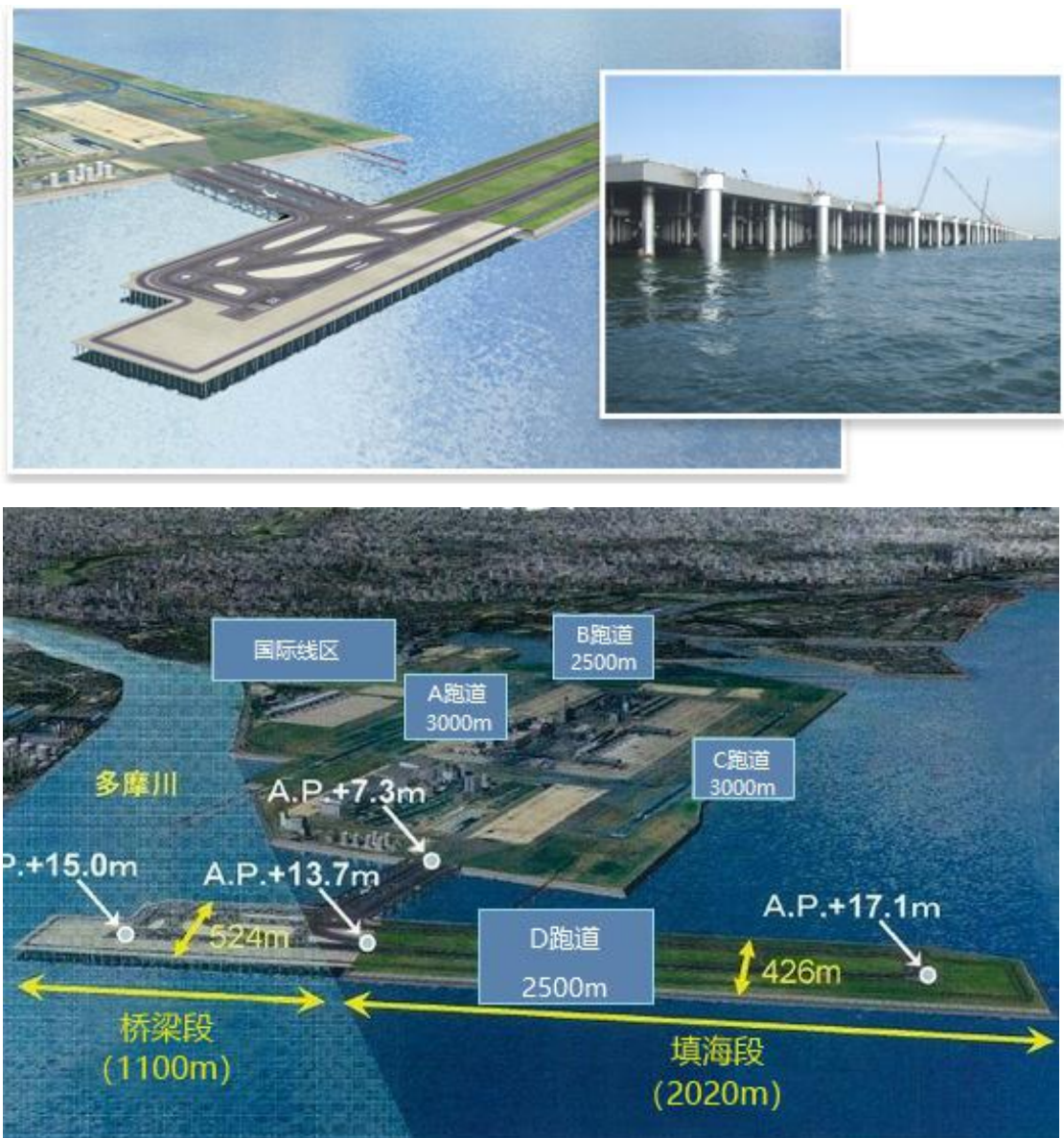


图 3-2 羽田机场 D 跑道



### 3.3 桥梁结构

#### 3.3.1 桥梁预制单元

由于D跑道位于C跑道航路下，施工净空有限，超过净空限制的施工设备必须在夜间C跑道关闭时使用。此外，施工区域靠近东京1号航道，该航道有大量大型货船通行，因此需要安全地控制工作船只的航行。

为了在严格的净空限制下快速施工，D跑道的桥梁部分采用了预制结构。一个预制单元（图3-4）由上部的钢梁和下部的钢管桁架组成。其标准尺寸长63 m、宽45 m、高31 m，重1300 t。D跑道主体共安装了198个单元。

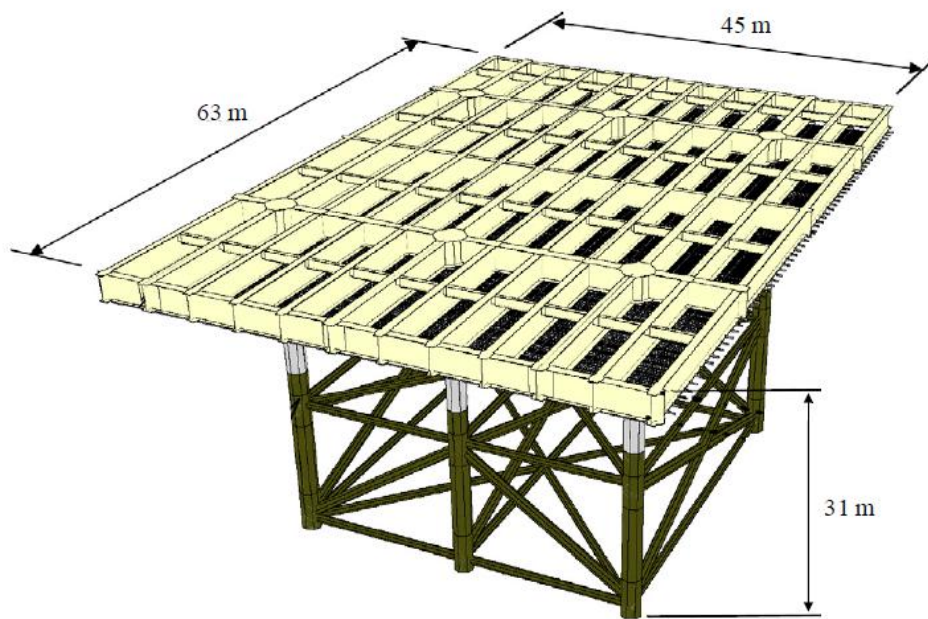


图 3-4 一个桥梁预制单元

在桥梁单元结构施工时，首先将六根钢管桩打入海床，然后将预制单元吊装到位，与桩头连接，在缝隙内灌入砂浆。钢管桩

的标准尺寸为直径 1600mm,长 90m。每个预制单元有 6 个支腿(少数单元为 4 个),支腿钢管直径为 1964mm,壁厚 70 mm。预制单元安装完成后,两个相邻单元之间有 2~3m 的间隙。最后,将尺寸调整节段插入间隙并焊接成整体。采用这种方法,最终建成 50 万 m<sup>2</sup> 的大型桥梁结构。图 3-5 是桥梁上部结构预制单元吊装施工的照片。



图 3-5 羽田机场 D 跑道桥梁施工现场

### 3.3.2 钢结构防腐措施

由于钢结构将受到海水的持续影响,钢材防锈是首要考虑因

素。为保证 100 年的设计使用寿命，根据部位不同，从下到上分别采用了三种防腐措施。

#### (1) 防锈阴极保护

该方法已广泛用于盐水环境中的钢结构。水面以下 1.5m 到海床的桩通过附着在桩上的电极棒防止生锈。

#### (2) 不锈钢防锈

受到海水影响的钢支腿构件由特制的不锈钢覆盖(图 3- 6)，厚度 0.4mm。

#### (3) 使用钛钢涂层盖板

在框架结构的顶部，钢梁及其与支腿的连接暴露在盐雾环境中。为了防止这些部位的腐蚀，在钢梁下方安装镀钛钢的盖板，覆盖框架结构整个区域，形成大量高 3m、宽 4m、长 7m 的箱室(图 3- 7)。安装除湿系统，通过空气管网将干燥空气送入各箱室，保持箱室内湿度不超过 50%。



图 3- 6 桥梁钢套筒结构防腐



图 3- 7 钛钢涂层盖板内部形成的箱室

### 3. 3. 3 混凝土桥面板

桥梁采用预制混凝土板，现场施工时通过现浇混凝土将预制桥面板和钢梁连接，形成组合梁结构。钢梁上采用了两种类型的预制混凝土板，即传统类型的预应力钢筋混凝土板（PC板）和

新型的“超高强度纤维增强混凝土（UFC）”。在跑滑区域设置 PC 板，其余部位设置 UFC 板，见图 3- 8。

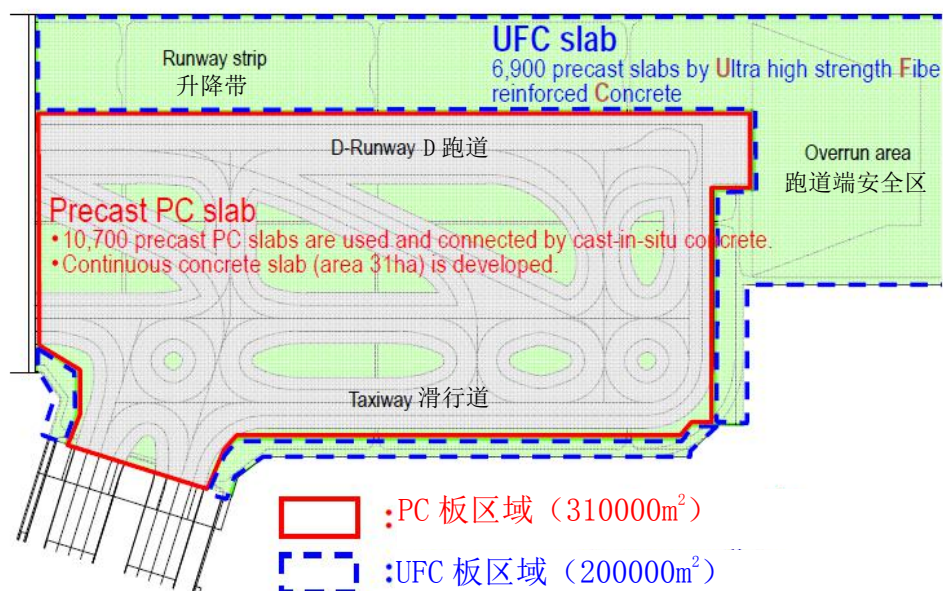


图 3- 8 不同类型混凝土桥面板的设置区域

该项目使用了 13000 块 PC 板。PC 板混凝土的设计强度为 50MPa，每块 PC 板（图 3- 9）尺寸为 6.585m × 3.32m × 400mm，重 25t。

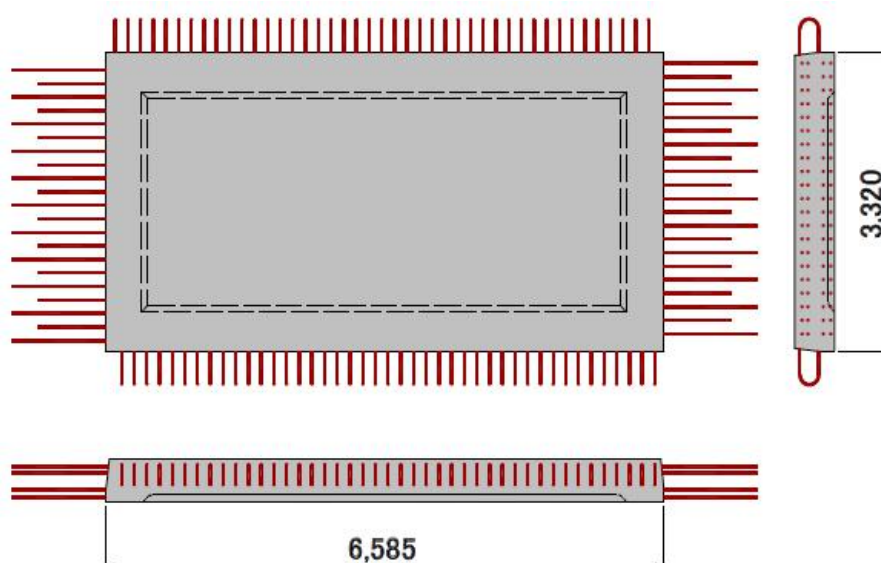


图 3- 9 预制钢筋混凝土板（PC 板）（单位：mm）

PC 板用平底驳船运到现场，铺设在钢梁上，相邻板之间预留一定空间。接缝处预留钢筋并浇注混凝土以牢固连接，见图 3- 10。

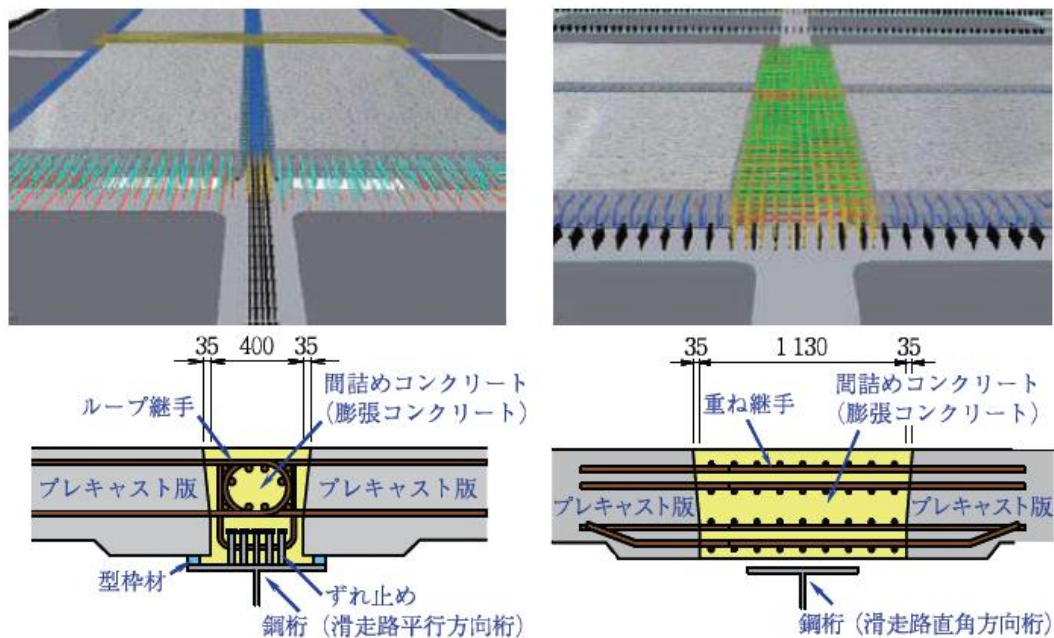


图 3- 10 PC 板接缝构造

该项目使用了 6939 块 UFC 板，每块板的尺寸为 7.82m × 3.61m × 250mm，见图 3- 11 ~ 图 3- 13。UFC 板设置双向预应力体系。由于 UFC 板仅铺设在跑滑区域以外，除紧急情况外，很少会施加重载。

UFC 板的使用为框架结构的设计提供了多种优势。首先，由于其抗压强度高达 180MPa，不需要钢筋加强，上部结构的重量得以减轻 60%，从而减小了由于地震作用引起的水平力，进而节省了框架结构的构造成本。其次，与普通混凝土相比，UFC 的渗透率小了 100 倍，减少氯离子渗透，提高了混凝土板的耐久性。

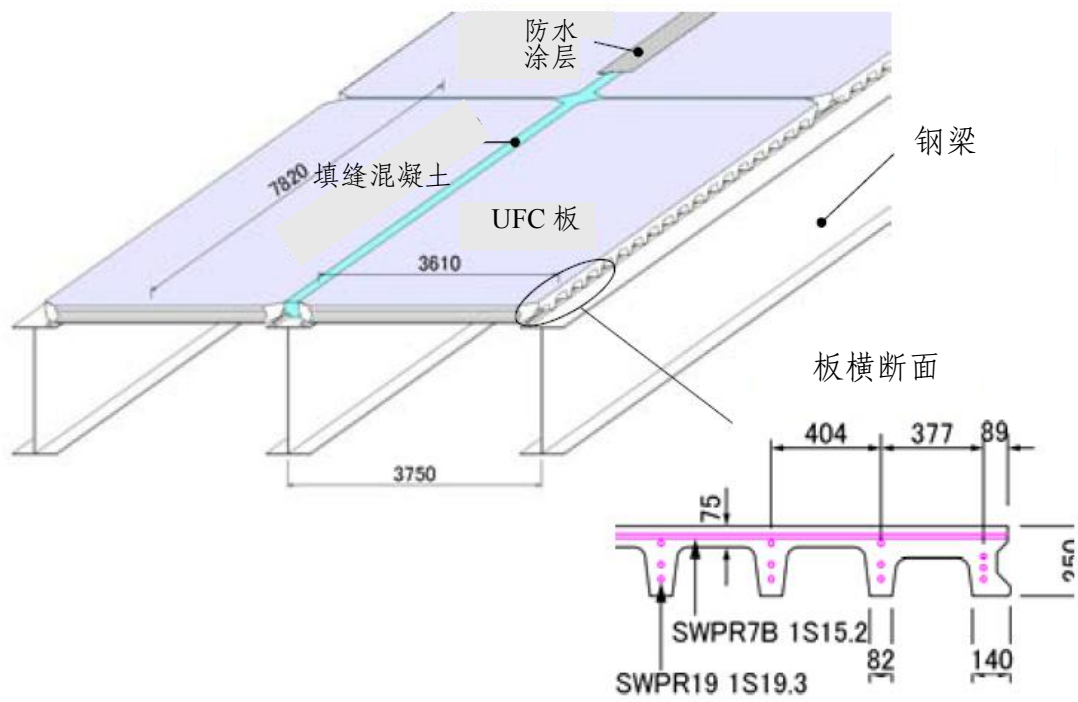


图 3- 11 UFC 板结构



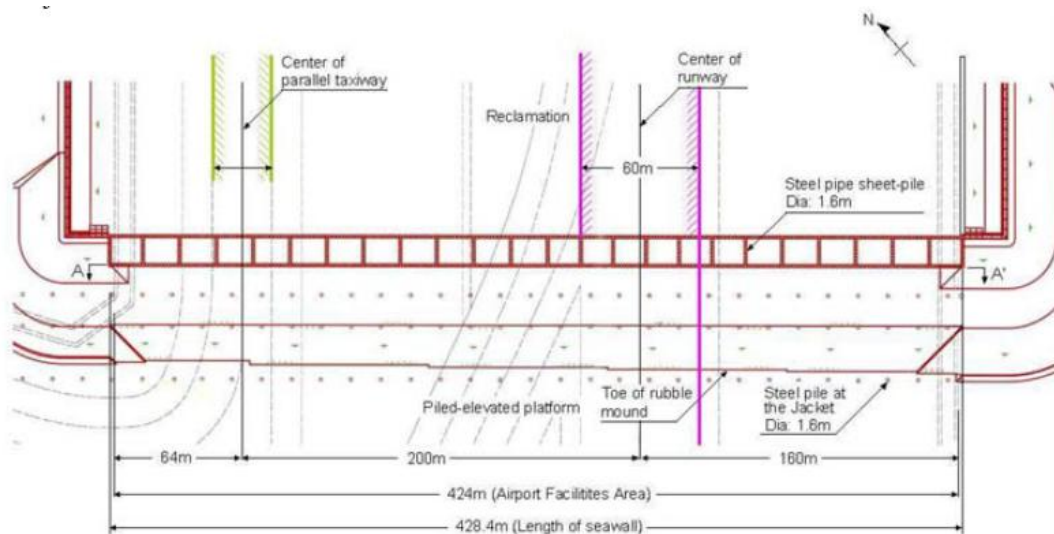
图 3- 12 UFC 板预制现场



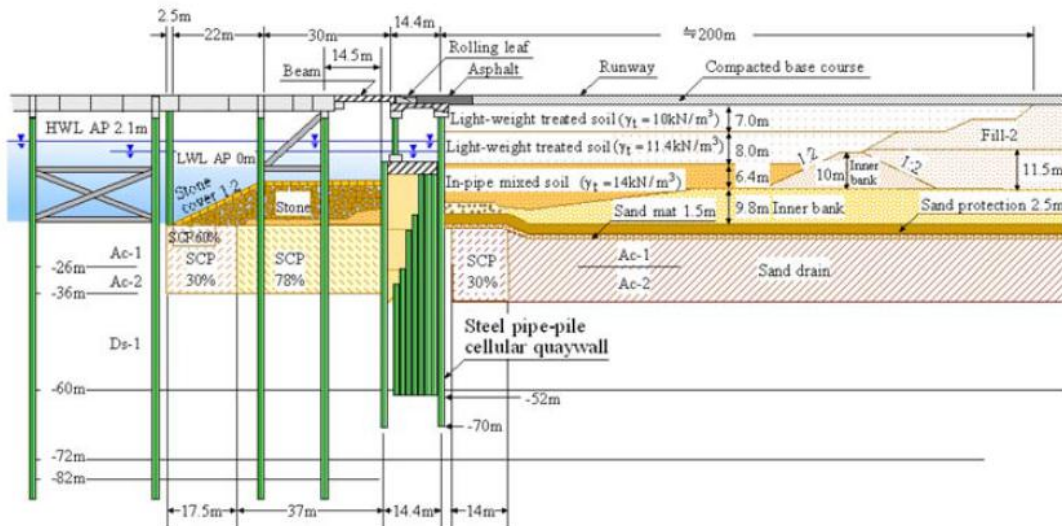
图 3- 13 UFC 板安装现场

### 3.4 连接段

连接段（图 3- 14 ~ 图 3- 15）垂直于跑道方向，总长 428m，采用钢管桩基础。沿海堤全长打设两排直径 1.6m 的钢管桩，形成 24 个连续的矩形单元。



a. 平面布置



b. 立面布置

图 3- 14 连接段布置

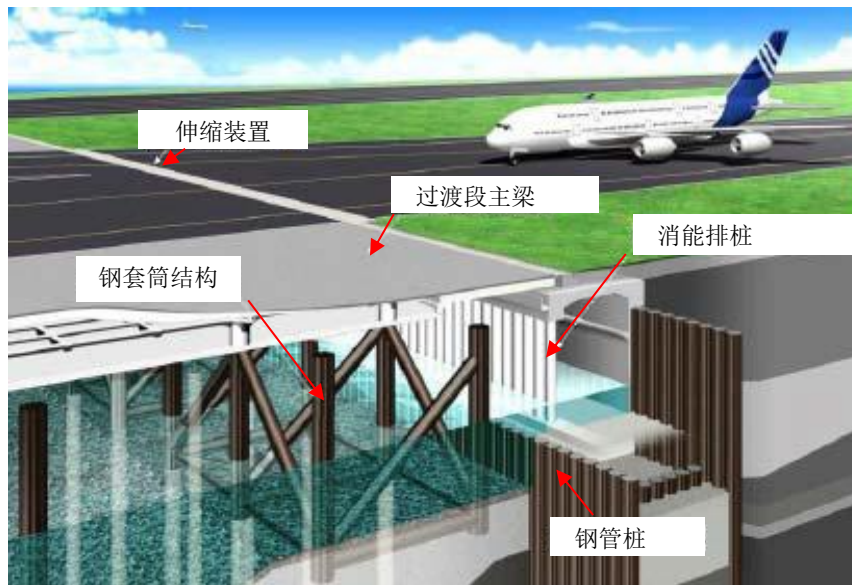


图 3- 15 连接段局部示意

### 3.4.1 消波护岸

连接段海堤的上部结构是狭缝式消能排桩，建造在蜂窝状钢管桩基础上，以防止风暴期间的反射波影响钢套管上部结构。消能排桩采用直径 1.2m 的预制预应力混凝土柱 ( $f'_{ck}=80\text{MPa}$ )，柱之间有 600mm 的狭缝，见图 3- 16、图 3- 17、图 3- 18。能量在通过狭缝时被吸收，从而减小了反射波。

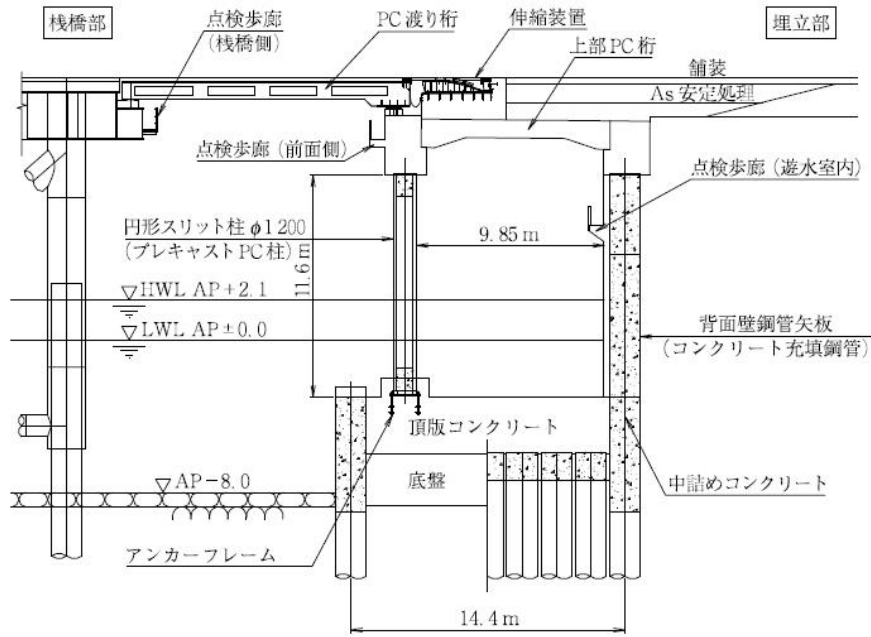


图 3- 16 连接段消波护岸断面

填方部分由于土压力作用会导致海堤产生变位，为抑制其变位，隔墙处的钢管桩接头使用高耐力接头，并采用混凝土顶板将钢管桩顶部和破浪排柱顶部相连接，提高其刚度。



图 3- 17 消能排桩和钢套管上部结构（施工期间）



图 3- 18 消能排桩

### 3. 4. 2 轻质回填材料

填海区最高海拔 17.1m，建在 20m 深的水域。海底有一层厚约 40m 的软质黏土层，该黏土层由于填海造成的沉降最大为 8m。因此，填土的最大厚度可达 45m。如此厚的填土作用在海堤上的土压力非常大，为了确保嵌入承力层的基础的稳定性，采用了轻质土回填，如气动搅拌水泥处理土和气泡处理轻质土（见图 3- 14b）。轻质土回填有助于降低侧向土压力、固结沉降和填土侧向位移。

### 3. 4. 3 伸缩装置

在连接段安装了伸缩装置，以满足填海区和桥梁区两个不同结构之间由于温度变化或地震作用引起的相对位移。

伸缩装置采用了如所示的卷帘式伸缩装置，它可以在平行和

垂直于跑道的方向上分别容许发生  $\pm 60\text{cm}$  的相对位移。设计和制造伸缩装置时,进行了与实际伸缩装置相同规格的全尺寸模型试验,包括动力试验、载荷试验和疲劳试验,以确保其性能满足要求。

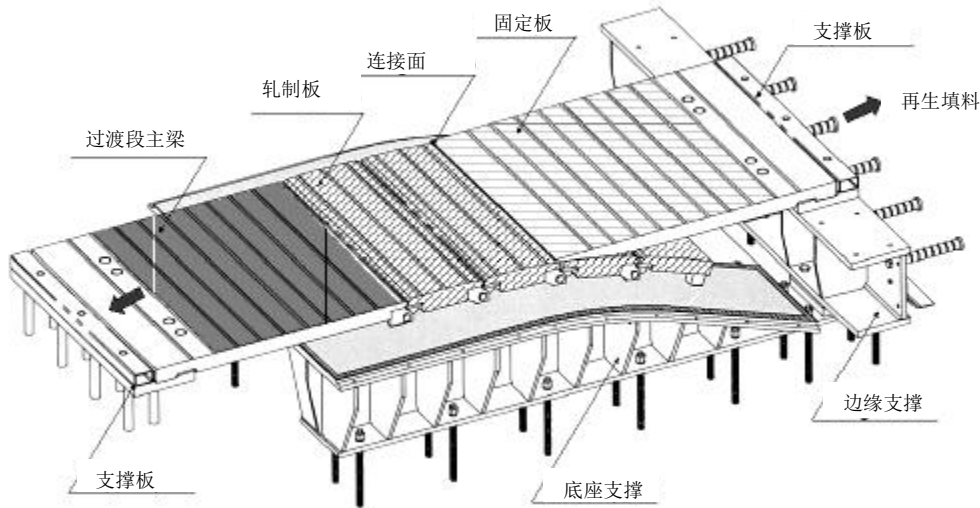


图 3- 19 伸缩装置

由于飞机轮胎直接行驶在伸缩装置上,伸缩装置发生变形时会直接影响飞机的运行,因此在夜间对伸缩装置进行高密度封闭巡回检查,检查是否发生顶板变形、高低不平以及螺栓松弛等问题。另外,伸缩装置的顶板在垂直跑道方向按照 1.5m 进行分幅,是易拆装的结构。在飞机频繁行驶的跑道区域,应定期将顶板取出,检查伸缩装置内部是否发生异常。

### 3.5 联络滑行道

联络滑行道(图 3- 20)连接 D 跑道和原有跑滑系统,由两条联络滑行道桥组成,均为长 620m、宽 63m,其两侧分别设置巡场路桥梁,宽约 10m。联络道采用与 D 跑道类似的桥梁结构。

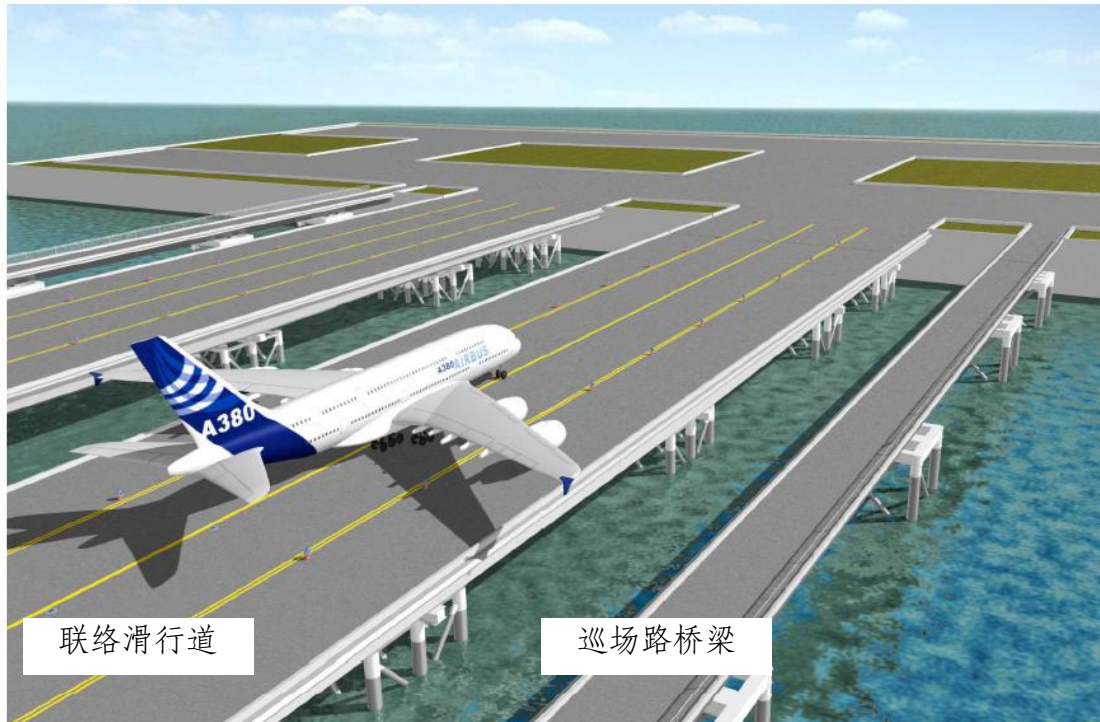


图 3- 20 羽田机场 D 跑道联络滑行道

### 3.6 试验验证

对没有参考案例的新结构形式，进行了必要的试验和数值分析等以证明其合理性。针对 D 跑道的混凝土结构，开展了如表 3- 1 所示的各种试验，验证其安全性和有效性。

表 3- 1 对 D 跑道设计实施的各种试验（混凝土结构相关）

设施	部位、构件	试验内容
桥梁	PC 桥面板现浇部分	足尺模型的静载试验
		足尺模型的疲劳试验
		裂缝检查、补修试验
		桥面板防水层（涂膜防水+SMA）的防水性试验
	UFC 桥面板	足尺 UFC 桥面板的制作试验
		足尺 UFC 桥面板的载荷试验
UFC 桥面板后浇段的有效性确定试验		

设施	部位、构件	试验内容
填方/桥梁 连接段	消波护岸	水工试验（最合适开叉形状，反射率、波力测定）
	钢管式板桩高耐久性 接缝（头）	冲剪试验，反复载荷试验
	伸缩装置	动力激振试验，压重载荷试验，疲劳试验
联络道	桩顶构造	螺纹双层钢管的附着强度试验
		直桩桥梁部的水平载荷试验
		接头剪切试验

## 4 美国亚特兰大国际机场

### 4.1 机场简介

美国亚特兰大哈兹菲尔德-杰克逊国际机场 (Hartsfield-Jackson Atlanta International Airport) (图 4-1), 位于美国佐治亚州亚特兰大市。亚特兰大机场始建于 1926 年, 之后进行了多次改扩建。2001 年 5 月, 跨越机场南部 285 号洲际公路的第五跑道正式动工, 2006 年 5 月完工, 耗资 12.8 亿美元。



图 4-1 亚特兰大哈兹菲尔德-杰克逊国际机场

### 4.2 项目概况

亚特兰大机场第五跑道扩建工程 (图 4-2) 包括长 2730m

的第五跑道、平行滑行道以及垂直联络道。

第五跑道穿过 10 车道的 285 号州际公路，约三分之二的跑道长度在公路西侧。连接这两部分的是一座耗资 1.59 亿美元的桥梁。飞机降落时，接地区域一般在跑道桥东侧，有一些较小的飞机也可能在跑道桥上接地。第五跑道平行滑行道上设有一座跨越 285 号州际公路的滑行道桥。



图 4-2 亚特兰大机场第五跑道和平行滑行道

### 4.3 桥梁结构

跑道桥和滑行道桥采用相似的布置和结构形式，见图 4-3。桥梁各四跨，其中两跨跨越现有公路，另外两跨为州际公路预留了足够的空间，方便其扩建至 18 个车道。预制高强混凝土主梁约 750 片，每片梁高约 2.08m，最长 39m。主梁支撑于 0.9m 厚的现浇混凝土墙上。

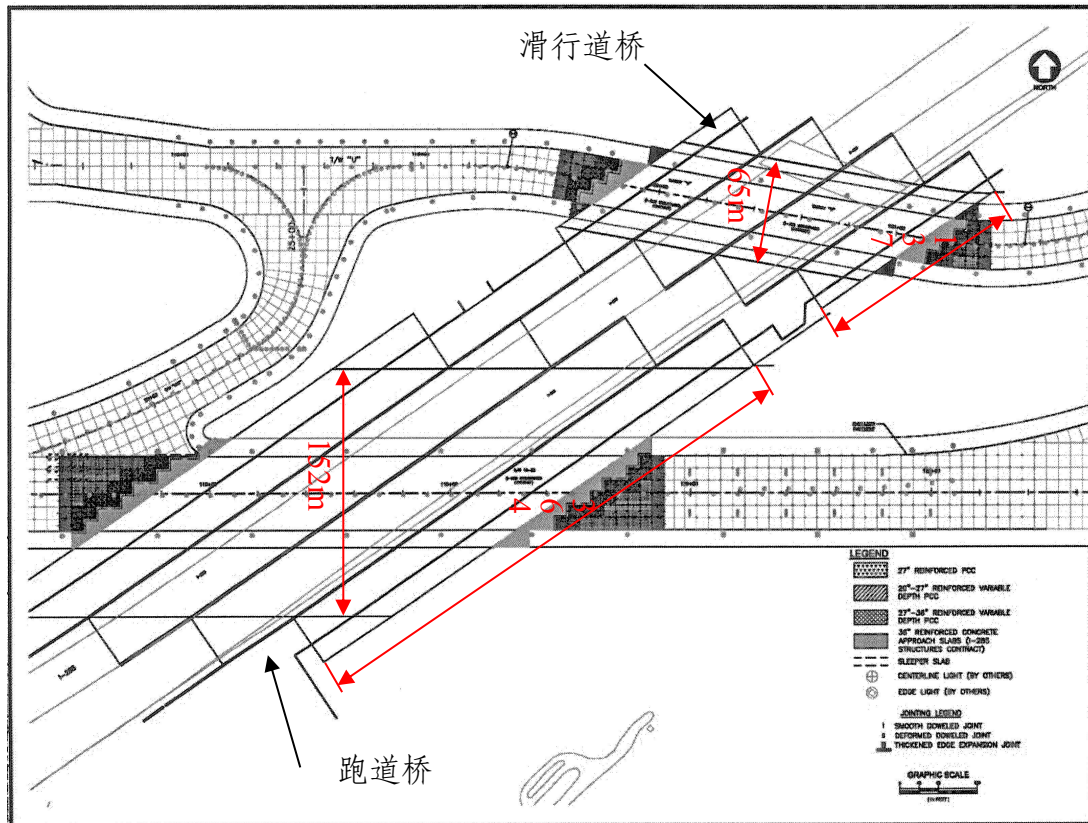


图 4-3 亚特兰大机场第五跑道和滑行道桥梁平面布置  
跑道桥和滑行道桥相关设计参数见表 4-1。

表 4-1 亚特兰大机场第五跑道及滑行道桥梁设计参数

序号	设计参数		跑道桥	滑行道桥
1	桥梁尺寸	垂直于跑道/滑行道 最小宽度	152m	65m
2		结构长度	364m	137m
3	跑道/滑行道与道路中心线 夹角		34°	44°

为了减小桥梁与其相邻跑道/滑行道间的不均匀沉降，在桥头两边设置了锯齿状的桥头搭板，并通过伸缩装置与跑道/滑行道其他部分连接。

跑道桥总宽约 364m。美国规定，所有长度超过 303m 的公路桥梁都应满足美国消防协会 502 标准（高速公路隧道、桥梁和其它限制性通道标准）的要求。

桥梁振动可能会影响飞行员对飞机的控制能力，应尽可能减小跑道桥和滑行道桥的振动。

#### 4.4 荷载

根据参考文献 11，跑道桥和滑行道桥能承受约 608t 的飞机荷载，略高于空客 A380 的重量。设计飞机荷载及冲击系数、制动力详见表 4- 2。

表 4- 2 亚特兰大机场第五跑道及滑行道桥梁设计飞机荷载

序号	飞机荷载	跑道桥	滑行道桥
1	飞机重量	总重 608 t，单轮重最大 30 t	
2	冲击系数	40%	30%
3	纵向制动力	487 t	145 t

#### 4.5 施工

亚特兰大机场第五跑道工程的桥梁上部结构采用预制结构。桥梁下部结构采用现浇的施工方式，但下部结构施工时没有中断交通。施工吊装主梁（图 4- 4）时，州际公路上的 10 条车道每次封闭 2 条车道，以避免在行驶车辆的上方进行施工。施工时对车速进行了限制。

由于跑道桥和滑行道桥远高于 285 号州际公路两侧的路堤，

为了使桥面与两侧的跑道和滑行道平顺衔接，需要通过填土来提升邻接段的高度。该工程共需填土 76 万  $\text{m}^3$ ，填土从 8km 以外的采石场运至施工现场。



图 4- 4 亚特兰大机场第五跑道跑道桥施工

## 5 其他机场跑道桥

### 5.1 劳德代尔堡-好莱坞国际机场

劳德代尔堡-好莱坞国际机场 (Fort Lauderdale-Hollywood International Airport) (图 5- 1), 简称劳德代尔堡机场, 位于美国佛罗里达州南部, 始建于 1929 年。2011 年, 劳德代尔堡机场启动南部 9R-27L 跑道扩建项目, 并于 2014 年完工。该跑道长约 2438m, 通过桥梁跨越佛罗里达东海岸铁路、美国 1 号公路以及机场进场路, 见图 5- 2、图 5- 3。该项目的跑道和滑行道布置、桥梁结构形式等与亚特兰大机场第五跑道相似。

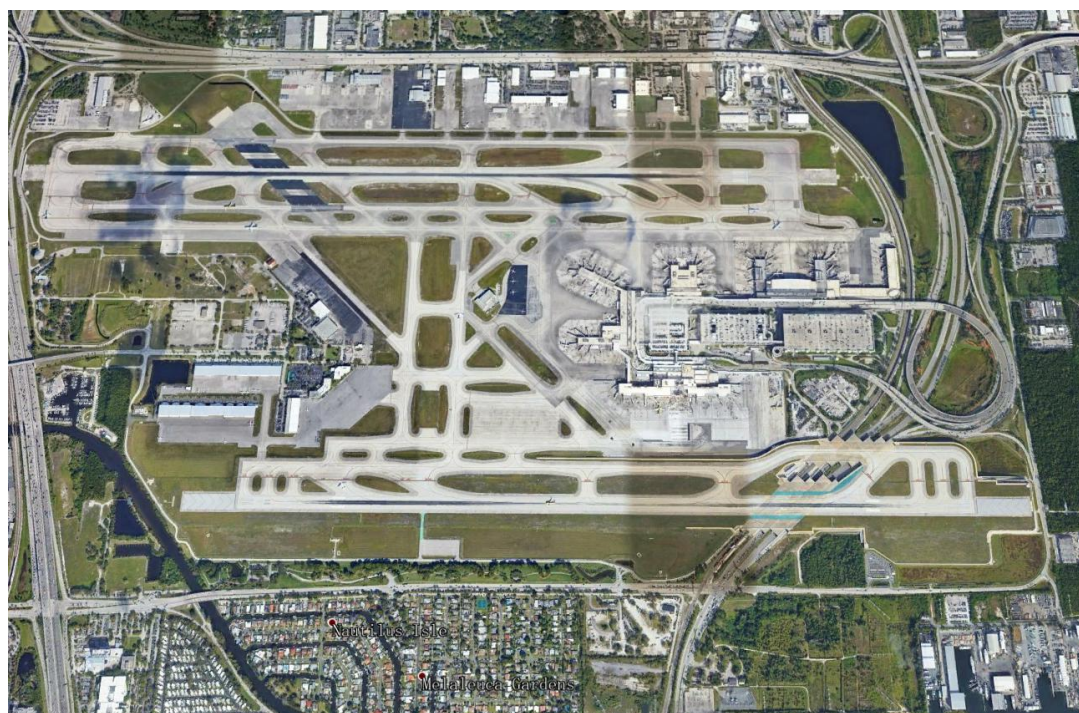


图 5- 1 劳德代尔堡-好莱坞国际机场



图 5- 2 劳德代尔堡机场 9R-27L 跑道



图 5- 3 劳德代尔堡机场跑道桥梁

## 5.2 孟菲斯国际机场

孟菲斯国际机场 (Memphis International Airport) (图 5- 4) 位于美国田纳西州孟斐斯东南, 始建于 1929 年, 现已成为世界最大的货运机场之一。机场现有 4 条跑道。Winchester

公路东西向穿过，与 1 条跑道和 4 条滑行道交叉，共设置了 3 座飞机桥梁，中间一座为跑道及其两侧滑行道共用桥梁，桥宽 356m，见图 5- 5。



图 5- 4 孟菲斯国际机场

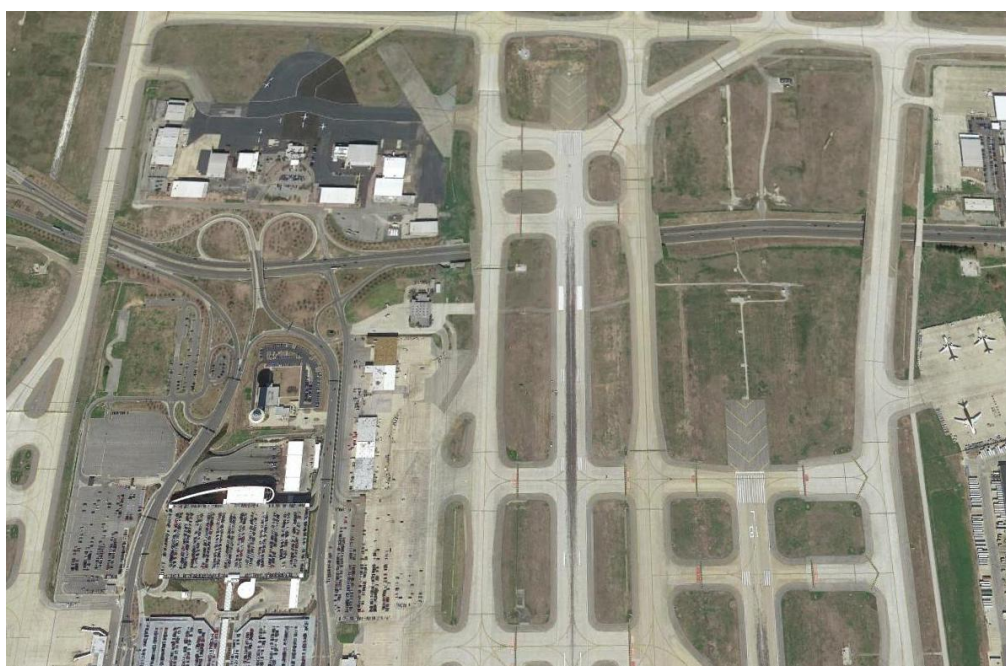


图 5- 5 孟菲斯国际机场跑道桥和滑行道桥

### 5.3 荷兰阿姆斯特丹国际机场

荷兰阿姆斯特丹国际机场 (Schiphol International Airport) (图 5-6、图 5-7) 又称史基浦机场或西佛尔机场。A4、A5 两条高速公路南北向从机场中间穿过，其中 A4 公路与一条跑道和两条滑行道交叉，A5 公路与一条滑行道交叉。跑道和滑行道均采用桥梁结构跨越公路和铁路。



图 5-6 荷兰阿姆斯特丹国际机场 (一)

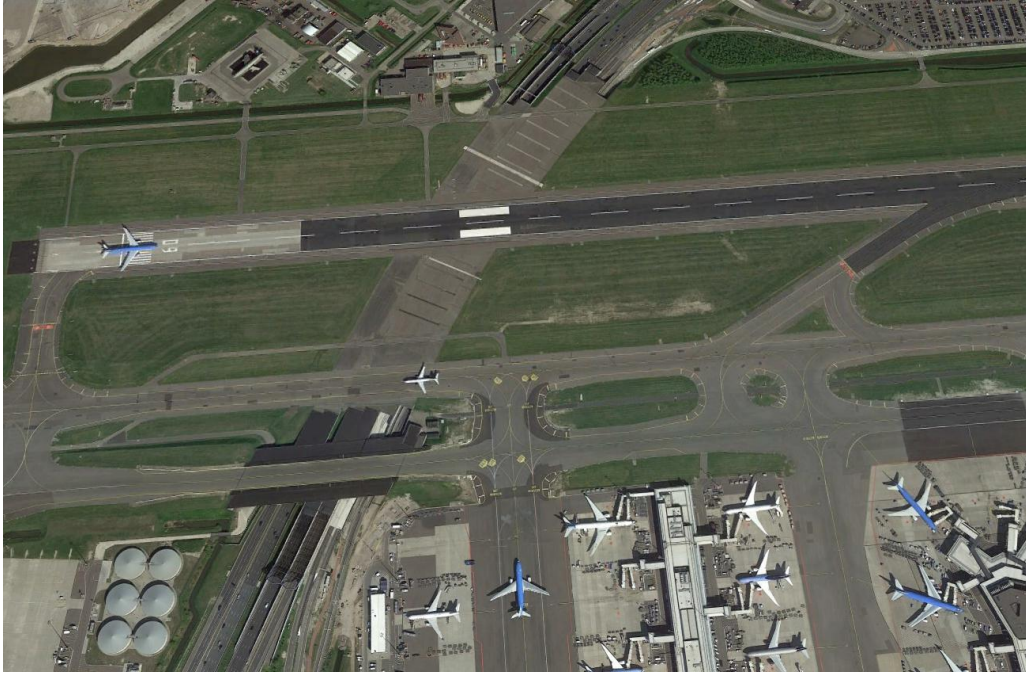


图 5- 7 荷兰阿姆斯特丹国际机场（二）

#### 5.4 巴黎戴高乐国际机场

法国巴黎的夏尔·戴高乐国际机场（Paris Charles de Gaulle Airport）（图 5- 8、图 5- 9），位于巴黎市东北 25km 处，始建于 1966 年。作为大巴黎地区南北向主干道的 A1 高速公路，先后与两条跑道和多条滑行道交叉。跑道和滑行道均采用了桥梁结构跨越公路，机场南侧的旅客不需要绕行，即可方便到达航站区。



图 5- 8 巴黎戴高乐机场（一）



图 5- 9 巴黎戴高乐机场（二）

## 5.5 巴黎奥利机场

法国巴黎奥利机场（Orly International Airport）（图 5- 10、图 5- 11）位于巴黎市南 14km 处。国道 N7 贯穿整个奥利机场，自北向南先后穿过航站楼、一条滑行道和一条跑道，其中跑道和滑行道采用了桥梁结构跨越公路。



图 5- 10 巴黎奥利机场（一）



图 5- 11 巴黎奥利机场（二）

## 5.6 伦敦希思罗国际机场

伦敦希思罗国际机场（London Heathrow International Airport）（图 5- 12）1946 年建成，位于英国英格兰大伦敦希灵登区，离伦敦市中心约 24 公里。希思罗机场目前有两条跑道，长度分别为 3902m 和 3660m，跑道间距 1425m。

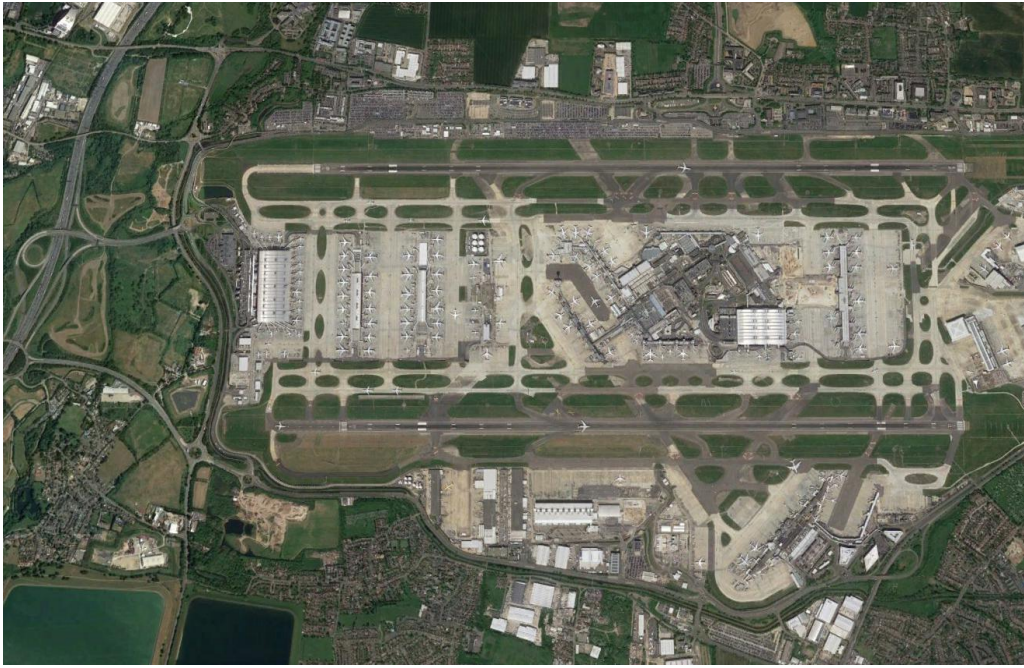


图 5- 12 伦敦希思罗机场

因运力接近饱和，希思罗机场急需扩建新的跑道。2006 年英国交通部发布了第一份希思罗机场扩建报告。经过十余年论证，2018 年 6 月，英国议会投票通过了三跑道扩建计划，预计在 2026 年竣工。图 5- 13 是扩建完成后的机场效果图。



图 5- 13 伦敦希思罗机场扩建项目效果图

### 5.6.1 扩建总体规划

扩建跑道净宽规划 45m，铺筑道肩宽 7.5m，非铺筑道肩宽 7.5m，如图 5- 14 所示。考虑安全运营及噪音因素，新跑道与现有北跑道的最小间距 1035m。

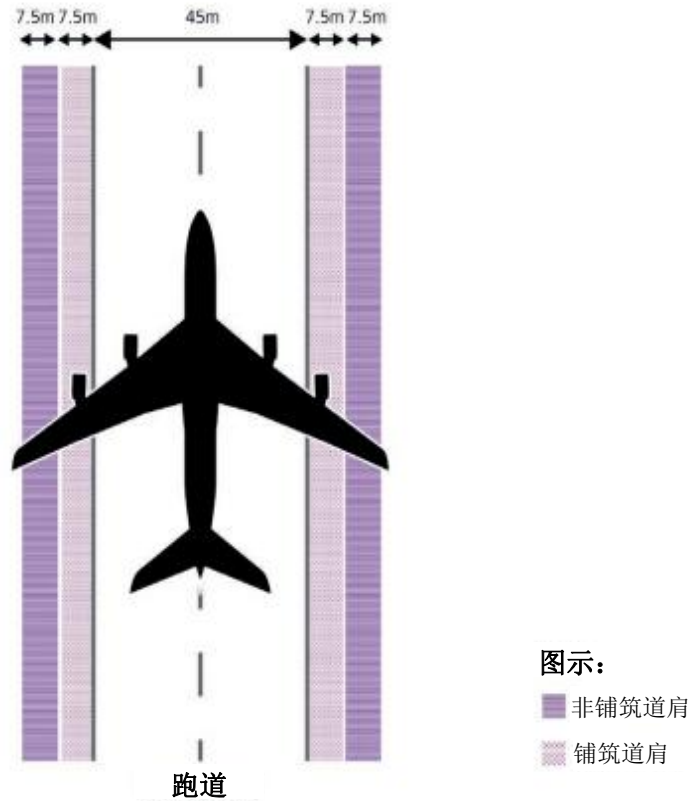


图 5- 14 跑道宽度

新跑道（图 5- 15）位于机场的西北方向，与现有 M25 高速公路交叉。M25 位于希思罗机场西部，呈南北走向。希思罗机场向西扩建，将占用现有 M25 部分路段以及 14 号互通立交（J14）和 14a 互通立交（J14a）所在区域。因此，该项目需要考虑重新调整区域内的 M25 路段并重新配置立交方案。同时，M25 需在改建过程中保持运营。

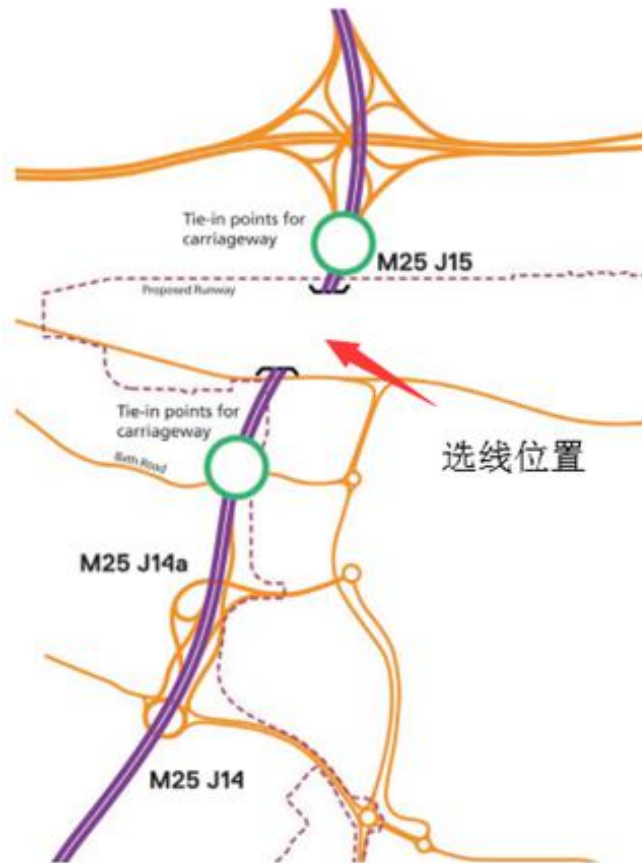


图 5- 15 希思罗机场新跑道选线位置

## 5.6.2 扩建方案比选

### 1) 比选方案

比选方案论证考虑了竖向位置、水平向位置，以及 M25 公路如何与其他公路连接等因素。

#### (1) 竖向位置的改造方案

M25 与跑道的竖向间距是公路竖向改建的一个关键因素。确定跑道位置时，考虑跨越 M25 架设跑道桥结构。图 5- 16 显示了跑道和 M25 路面之间需要布置的各个区域。M25 上跑道的确切高度将通过后续的详细设计来确定。

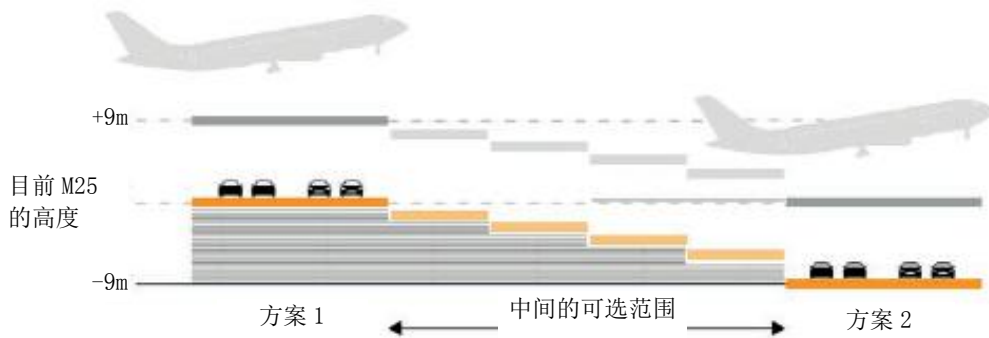


图示：



图 5- 16 竖向改建示意

竖向位置可选方案为：抬高跑道标高以跨越现有的 M25；或者降低 M25 标高，减少跑道需要抬升的高度，见图 5- 17。



图示：

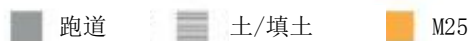


图 5- 17 M25 行车道竖向位置的可选范围

M25 可以降低的程度受到现有的 J15 出口和高速公路设计标准的限制。通过改变 J15 的布局、降低设计行车速度或线路整体

向东或西平移，可以使 M25 降低更多。竖向位置的方案因此确定为如下两种：

1. 将 M25 保持在当前高度并抬高跑道；
2. 降低 M25，使跑道不需要抬高。

需要确定竖向的最佳位置，减少对现有高速公路和机场运营的干扰，并减少抬高跑道结构或降低 M25 的成本。

### （2）平面位置改建方案

M25 需要穿过跑道下方，其平面位置的选择是设计考虑的一个关键因素。首先，如果路线可以平移到新跑道的西端使之无交叉，那么就不需要改变竖向高度。但是，此方案必须改变 J15 的位置。其次，改变水平交叉位置会使竖向位置的选择更具灵活性。

因此，水平交叉位置可选方案是：

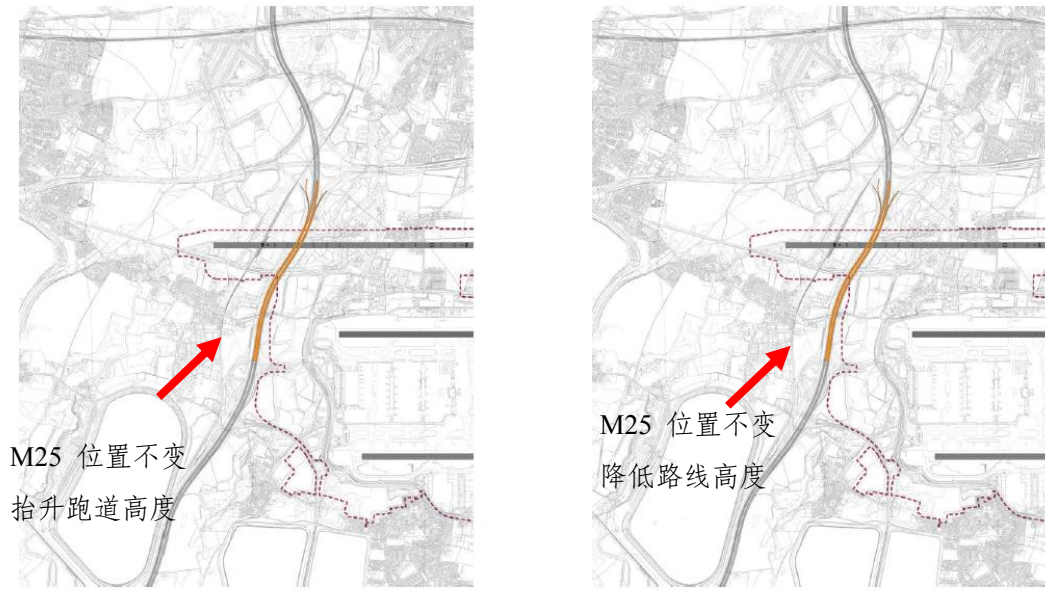
1. 保持当前的水平交叉位置；
2. 在可以连接到 J15 立交的范围内，将路线向东或向西平移；
3. 平移足够远使 M25 越过新跑道的西端而不与跑道交叉。

### （3）可选方案

竖向和水平向位置的不同方案结合起来，可以形成整体方案，如表 5- 1 所示。表中的第一列列出了是否更改 J15，第二列列出了每种情况下可能的水平交叉位置方案，第三列列出了四个选项组，共九个方案。

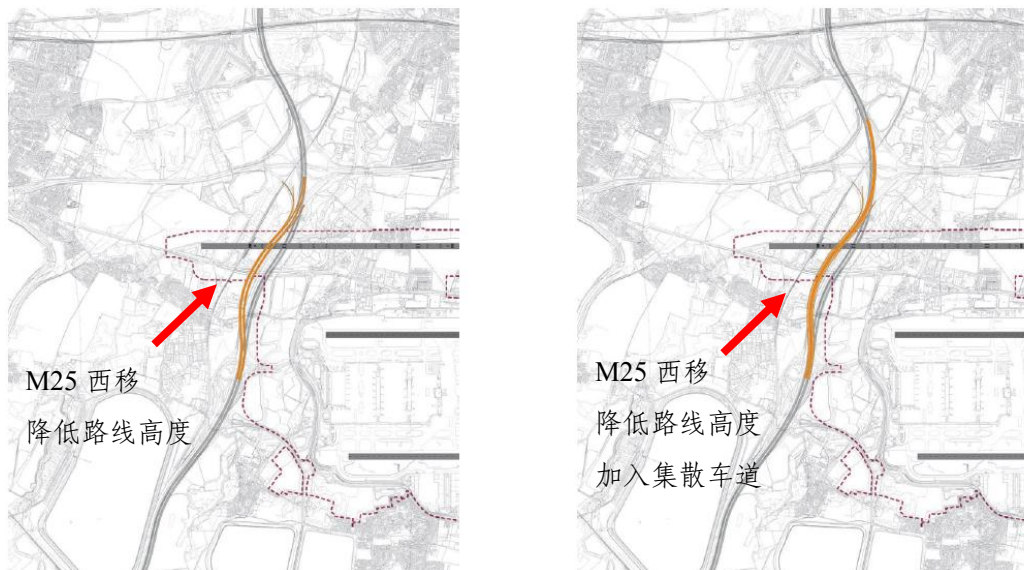
表 5- 1 M25 改建方案详述表

改变 J15	水平交叉位置	选项组	竖向交叉位置	方案名称	方案描述	方案说明
否	不变	AA	不变	AA0	该方案中 J15 立交不变, 并保留行车道当前的水平和竖向位置, 将跑道提升到 M25 以上的行车道上方。	M25 路线不变, 提升跑道高度。
			降低	AA1	该方案使 J15 立交保持不变, M25 行车道的水平位置不变。降低竖向位置以降低跑道需要提升的高度。	M25 路线不变, 降低路线高度。
	场地内调整	AB	降低	AB1	该方案中 J15 立交不变, 行车道局部向西平移, 以降低竖向位置。	M25 西移, 降低路线高度。
			降低	AB2	该方案中 J15 不变, 行车道局部向西平移, 允许降低竖向位置。此外该方案将加入集散车道。	M25 西移, 降低路线高度, 加入集散车道。
			降低	AB3	该方案中 J15 立交不变, 行车道局部向东平移, 以降低竖向位置。	M25 东移, 降低路线高度。
	是	场地外调整 J15 附近	AC	待议	AC1	这个方案改变 J15 立交, 以允许 M25 平移足够远来越过跑道西端从而不与机场跑道交叉。同时重新设置 J15 支路与 M4 的立交。此方案的竖向布置将在后面的详细设计过程中确定。
待议				AC2	这个方案改变了 J15 立交, M25 向西平移。同时重置路线和 J15 立交。此方案的竖向布置将在后面的详细设计过程中确定。	M25 西移, 改建 J15 立交。
待议				AC3	这个方案改变了 J15 立交, 以允许 M25 平移足够远来越过跑道西端从而不与机场跑道交叉。但仅用于直行车辆, 掉头车辆仍需通过现有的 J15。此方案的竖向布置将在后面的详细设计过程中确定。	M25 西移不与跑道交叉, 改建 J15 立交, 分流直行与掉头车辆。
通过 J15		AD	待议	AD1	这个方案改变了 M25 的走线以通过 J15。这使得 M25 在跑道下方的更深处通过。	M25 西移, 改建 J15 立交以获得更大下穿空间。



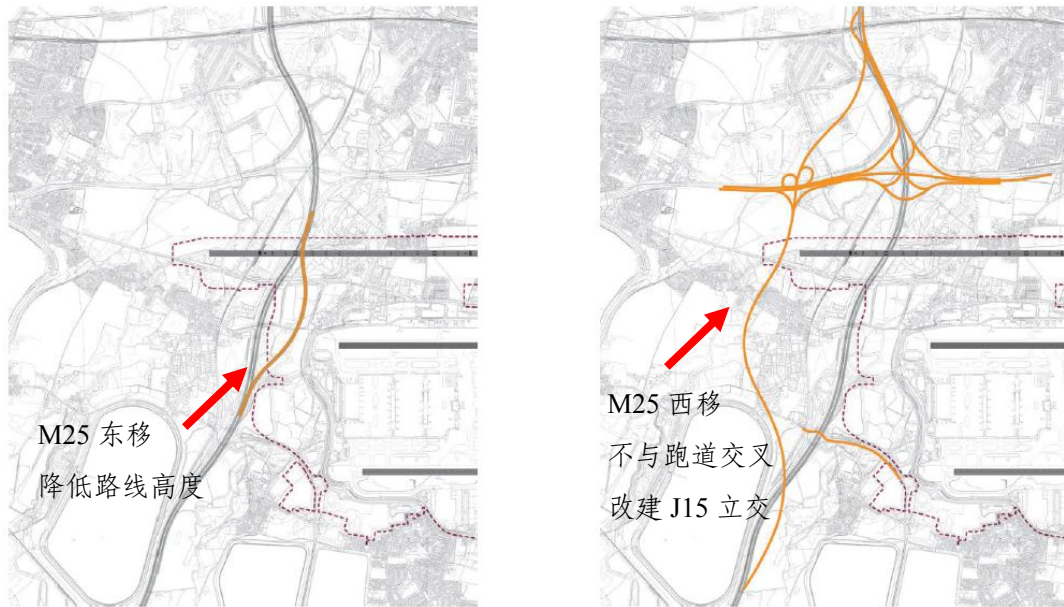
注：— 机场扩建边界 — M25 布置方案 — 跑道 — M25

图 5- 18 方案 AA0 和方案 AA1



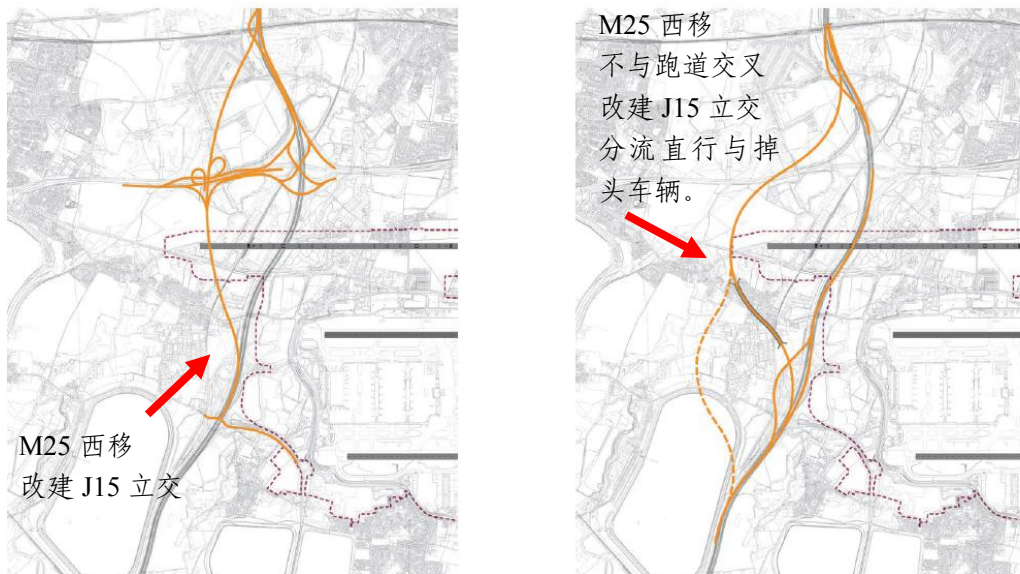
注：— 机场扩建边界 — M25 布置方案 — 跑道 — M25

图 5- 19 方案 AB1 和方案 AB2



注：— 机场扩建边界 — M25 布置方案 — 跑道 — M25

图 5- 20 方案 AB3 和方案 AC1



注：— 机场扩建边界 — M25 布置方案 — 跑道 — M25

图 5- 21 方案 AC2 和方案 AC3



注：—机场扩建边界 — M25 布置方案 — 跑道 — M25

图 5- 22 方案 AD1

## 2) 比选原则

通过以下比选原则，确定方案的可行性。

(1) 删除对 J15 产生破坏性影响的方案，维持 M25 的服务水平；

(2) 删除需要关闭 M25 的方案；

(3) 删除需要改变 Wraysbury 水库的方案；

(4) 删除导致容量减少的方案；

(5) 删除使总体规划的关键要素不可行的方案。

按照以上原则对方案进行评估后，可行的 M25 改造方案有：

AA0, AA1, AB1, AB2, AC1, AC2 和 AC3。

### 3) 比选结论

比选的主要结论是：基于可持续发展以及相关标准的评估，取消了方案 AC1 和 AC3；与方案 AB1 和 AB2 相比，方案 AA0、AA1 和 AC2 得分较低。因此，推荐的首选方案是 AB1 和 AB2。

根据评估，M25 将最多向西调整 150m，并降低约 7m。与英格兰高速公路公司协商后，M25 路线的小调整将作为总体规划的一部分继续细化。

总的来说，希思罗机场改扩建项目针对新跑道与周边高速公路交叉问题得出以下解决方法：垂直方向上架设跨线跑道桥梁或修建隧道使高速下穿，水平方向上高速公路改线避让跑道。通过建立一系列待选方案并综合考虑运营与服务、可持续性和规划与成本等因素后，初步确定改建方案：调整公路水平位置，跑道通过桥梁结构跨越公路。

## 6 滑行道桥

### 6.1 美国机场滑行道桥

美国的很多机场都建有滑行道桥，包括肯尼迪国际机场、奥黑尔国际机场、达拉斯-沃斯堡国际机场、孟菲斯国际机场、休斯顿洲际机场、坦帕国际机场、罗利-达拉姆国际机场、奥兰多国际机场等。

Bruce A. Moulds 曾对美国 24 座飞机桥梁进行了调研（参考文献 14），收集了各座桥梁的相关信息，包括总体尺寸、设计机型参数、结构类型、净空要求等。根据调研数据，整理出美国飞机桥统计资料见附录 A。

美国机场滑行道桥特点如下：

- （1）主跨：12.2m ~ 35m;
- （2）总宽：34.5m ~ 66.1m;
- （3）飞机荷载：总重一般为 450t、590t 或 770t，制动力系数一般采用 5%、20%或 70%;
- （4）结构类型：一般采用钢梁或预制混凝土结构，仅有 3 座桥梁采用现浇混凝土结构。

### 6.2 我国机场滑行道桥

为解决飞机滑行与空陆侧车辆交通的平面干扰，我国广州白云机场、首都机场、上海浦东机场、澳门机场等已经建成 60 余

座滑行道桥，有单跨和多跨布置形式（图 6-1、图 6-2），其主要统计资料详见附录 B。

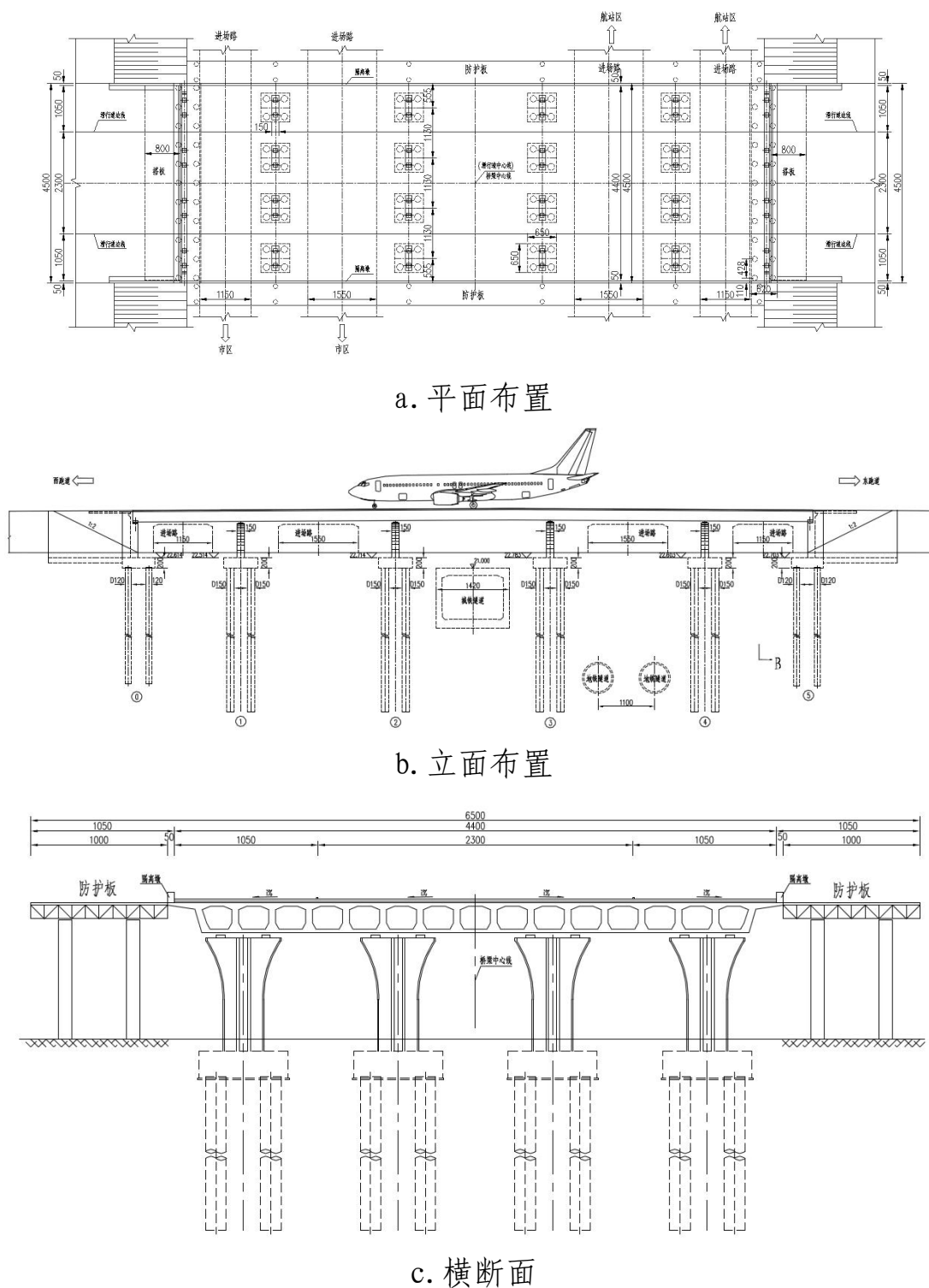
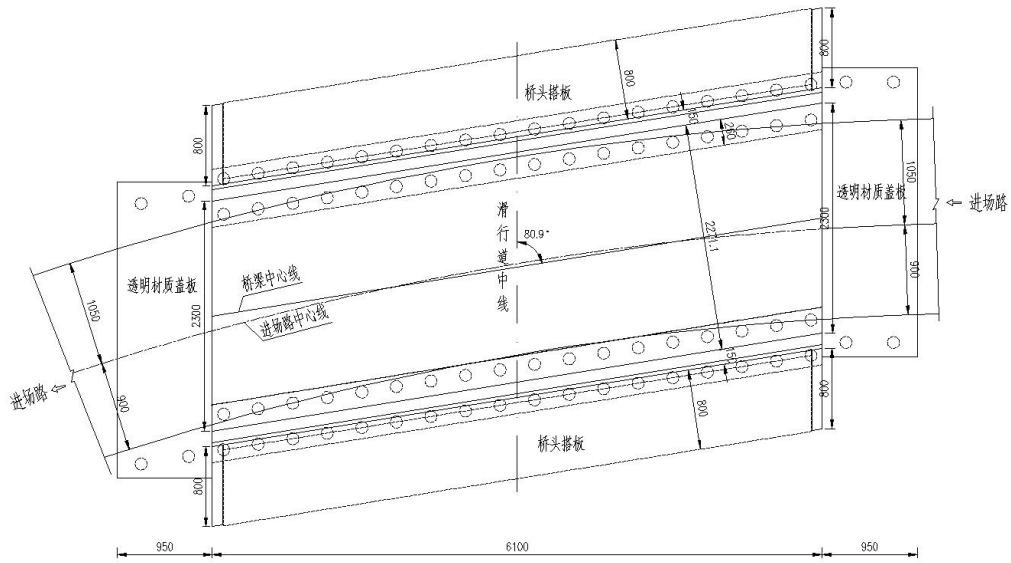
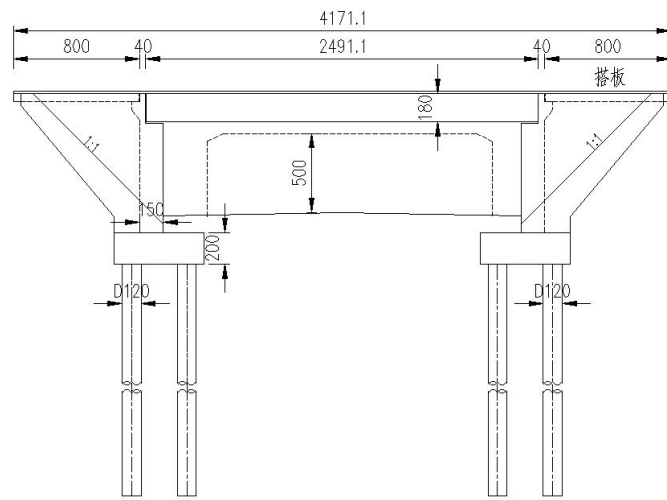


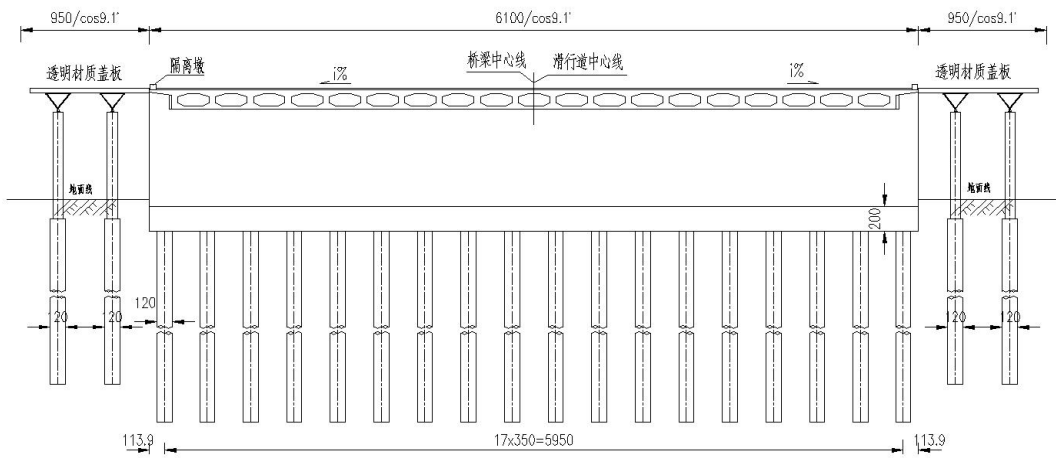
图 6-1 多跨滑行道桥示意



a. 平面布置



b. 立面布置



c. 横断面

图 6-2 单跨滑行道桥示意

我国机场滑行道桥特点如下：

- (1) 主跨：9m ~ 39.5m；
- (2) 总宽：44m ~ 81m；
- (3) 飞机荷载：C类、E类或F类飞机；
- (4) 结构形式：钢筋混凝土、预应力混凝土结构，钢结构。

### 6.2.1 北京首都国际机场

北京首都国际机场（图 6-3）滑行东桥（图 6-4）位于首都机场 T1、T2 航站楼南侧，连接机场西跑道与 T2 南侧停机坪。该桥上跨机场高速公路及其辅路，桥跨布置为（17.09+16.25+17.09）m。此桥始建于 1976 年，上部结构采用预应力混凝土连续箱梁，下部结构为薄壁式桥墩和一字墙式桥台。2012 年进行翻建，将上部结构拆除后更换为钢箱梁，同时对下部结构进行加固处理。



图 6-3 北京首都国际机场



图 6-4 北京首都国际机场滑行道东桥

### 6.2.2 北京大兴国际机场

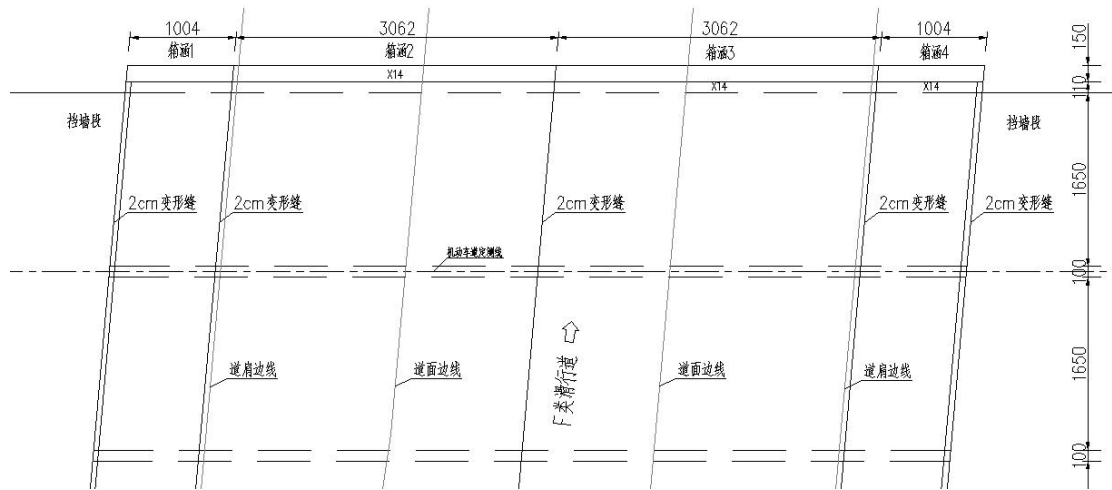
北京大兴国际机场（图 6-5）北跑道与航站楼站坪之间的 5 条联络滑行道需跨越磁大路，因此设置 5 座滑行道桥（图 6-6）与磁大公路形成立体交叉。其中 4 座为 F 类飞机桥（图 6-7），1 座为 E 类飞机桥。该 5 座滑行道桥均为净宽 $(7.75+16.5+16.5)$  m 三孔闭合框架结构，基础为复合地基，顶板以上为道面结构层（滑行道 80cm 厚），F 类飞机桥桥宽 61m，E 类飞机桥桥宽 45m。



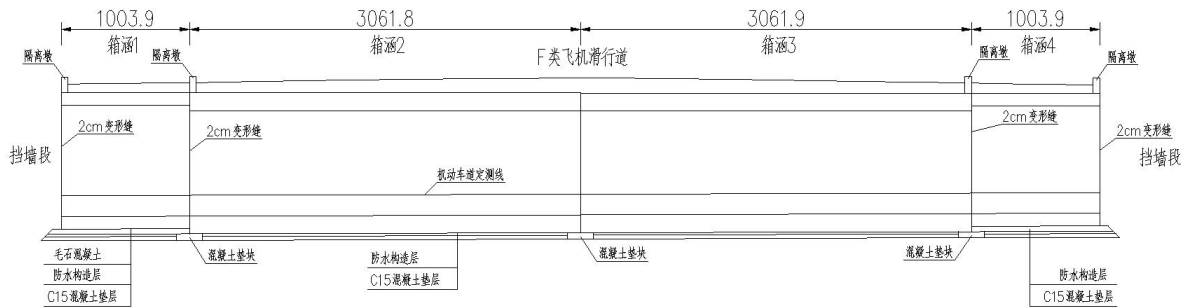
图 6- 5 北京大兴国际机场



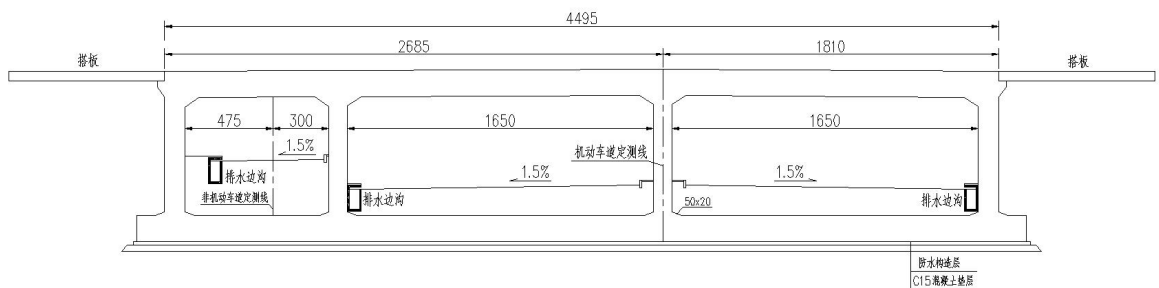
图 6- 6 北京大兴机场磁大路滑行道桥



a. 平面布置



b. 立面布置



c. 横断面

图 6-7 磁大路 F 类滑行道桥 (单位: cm)

### 6.2.3 广州白云国际机场

广州白云国际机场 (图 6-8) 建有 5 座滑行道桥, 分别在航站楼南北两侧与南北进场路交叉。其中 1 号、3 号滑行道桥 (图 6-9) 位于机场南侧, 分别跨越一条轻轨线、两条南主进场路、

两条辅路，采用 5 跨连续梁结构；2 号、5 号滑行道桥（图 6- 10）位于航站楼北侧的 G、H 滑行道上，跨越北主进场路，结构形式采用 2 跨简支梁桥面连续结构。



图 6- 8 广州白云机场



图 6- 9 广州白云机场 1 号滑行道桥



图 6- 10 广州白云机场 5 号滑行道桥

#### 6. 2. 4 成都双流国际机场

成都双流国际机场（图 6- 11）大件路滑行道桥（图 6- 12）采用（22+28+28+22）m 预应力混凝土连续箱梁，横向 3 幅，中幅桥宽 44m，边幅桥宽 8m。桥墩在横桥向设计为哑铃型，桥墩壁厚最大为 2m，桥墩宽度为 4m，桥台为重力式台，桥墩为桩基础。

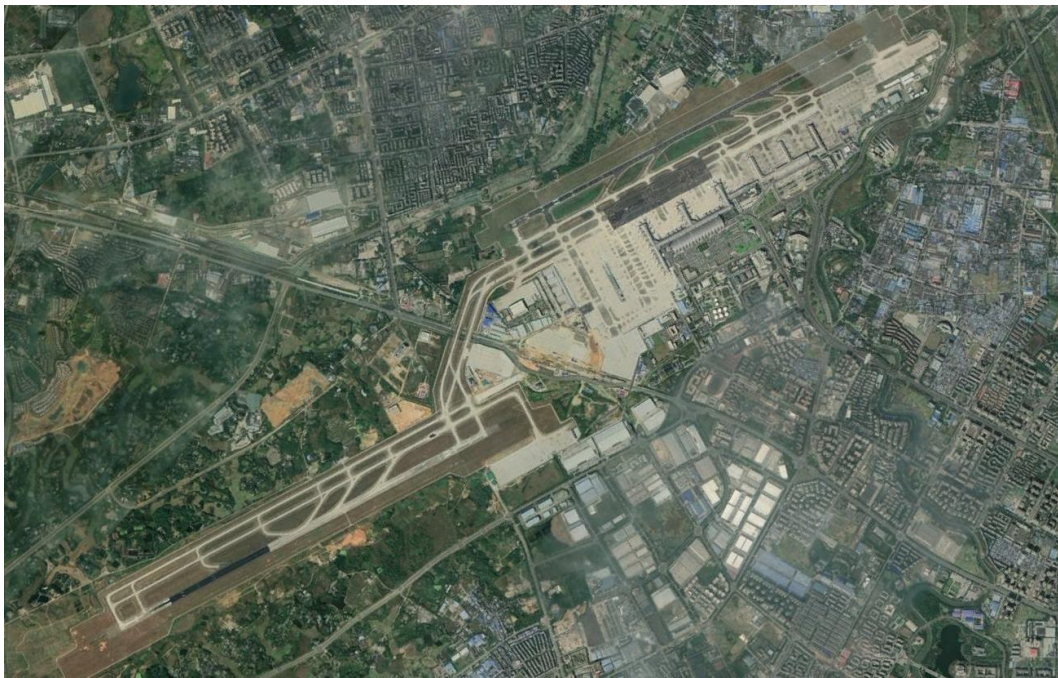


图 6- 11 成都双流机场



图 6- 12 成都双流机场大件路滑行道桥

### 6.2.5 武汉天河国际机场

武汉天河国际机场（图 6- 13）三期扩建工程南垂直联络滑行道和服务车道与机场南进场路形成交叉，为保证联络滑行道及服务车道的运营与进场路的运营互不干扰，设置了两座 E 类滑行道桥（图 6- 14）。南侧为 1 号滑行道桥，北侧为 2 号滑行道桥，两座滑行道桥均为  $(21+3\times 30+21)$  m 连续梁桥，上部结构采用预应力混凝土箱梁，桥墩采用薄壁式墩，桥台为一字墙式台，基础均采用桩基础。两桥桥宽均为 45m。



图 6- 13 武汉天河国际机场



图 6- 14 武汉天河国际机场滑行道桥

### 6.2.6 澳门国际机场

澳门国际机场（图 6- 15、图 6- 16）于 1995 年建成，主要由供建设跑道用的海上填筑人工岛、位于凼仔鸡颈山下海边的航站区以及连接航站区和人工岛的联络桥三部分组成。为了解决填

海机场土方量过大及环保问题，在航站区和跑道所在的填海人工岛之间，设置了滑行道桥(图 6- 17、图 6- 18)。人工岛长 3590m，南侧宽 381.5m，北侧宽 269m。跑道长 3360m，宽 60m；人工岛区域平行滑行道长 1580m、宽 44m (含道肩)。

滑行道桥为高桩梁板式结构。由南桥、北桥组成，南桥长 1615m，北桥直线段长 700m、斜叉段长 259.5m，合计总长 2574.5m。服务管线沟位于桥面两侧，宽 2.25m，高 0.37m，总长 4928m。



图 6- 15 澳门国际机场卫星图



图 6- 16 澳门国际机场航拍照片

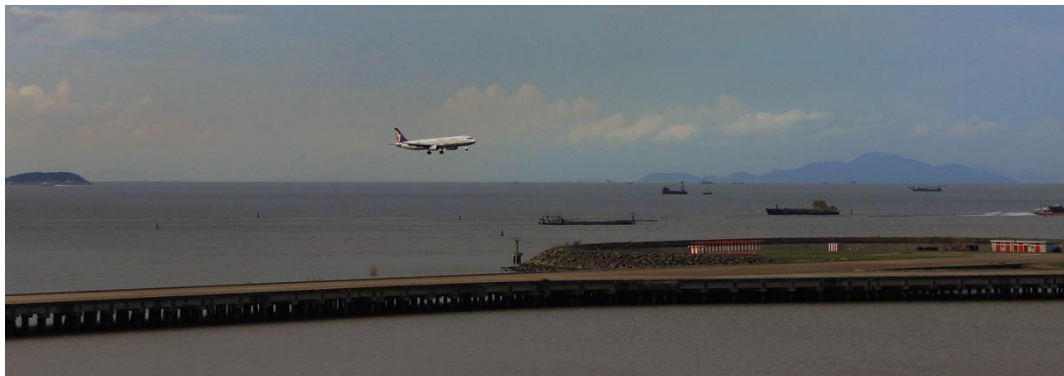


图 6- 17 澳门国际机场滑行道桥（一）



图 6- 18 澳门国际机场滑行道桥（二）

## 7 总结与建议

### 7.1 跑道桥

在复杂建设条件下，应将跑道桥作为一种比选方案，从工程技术、工程投资、环境保护、节约用地等方面进行专题论证，经综合比选后确定技术方案。

(1) 山区或沿海机场跑道建设时，可借鉴葡萄牙罗纳尔多、日本东京羽田等机场建设项目的经验，引入桥梁结构，减少大面积挖填方或填海工程，节约建设用地，保护生态环境。

(2) 机场建设与公、铁路网及河流等线路存在矛盾时，可借鉴亚特兰大、劳德代尔堡、阿姆斯特丹、戴高乐、希斯罗等机场项目的经验，采用桥梁结构使之与公路、铁路、河流等形成立体交叉，减少路网及河流改道，以节约用地、保护环境、缩减工期，减少工程量及投资。

### 7.2 滑行道桥

机场滑行道桥是解决与机场内外交通、河流等交叉问题的有效手段，宜在机场规划设计时充分考虑并提前预留。

当前我国 60 余座滑行道桥中 30 多座服役年限在 10 年以上。为保障桥梁结构安全和机场安全运行，应重视在役桥梁的养护管理，做好定期检测，有条件的情况下可考虑设置桥梁安全监测系统。

## 附录 A 美国机场滑行道桥统计资料

机场名称	桥梁位置	总体尺寸 (m)					结构类型			设计标准			桥面板厚度 (mm)	梁高 (m)
		桥跨数	跨径	总长	全荷载宽度	总宽	钢梁	预制混凝土	现浇混凝土	设计飞机组别	设计飞机总重 (t)	制动力		
罗利-达拉姆国际机场	滑行道 E	2	26.8+26.5	53.3	28.3	39.9	◆			IV	450	70%	430	1.9
罗利-达拉姆国际机场	滑行道 E	1	25.6	25.6	28.3	39.0	◆			IV	450	70%	430	1.9
达拉斯-沃斯堡国际机场	滑行道 19&30	4	14.9+26.8+26.8+14.9	83.2	30.5	63.1	◆			V	590	5%	430	1.8
达拉斯-沃斯堡国际机场	滑行道 18&32	4	14.9+26.8+26.8+14.9	83.2	30.5	63.1	◆			V	590	5%	430	1.8
达拉斯-沃斯堡国际机场	滑行道 A	4	9.8+16.5+16.5+9.8	52.4	30.5	63.1	◆			V	590	5%	430	1.8
肯尼迪国际机场	滑行道	2	19.8+19.8	40.8	30.5	39.6	◆			V	390		300	1.7
休斯顿洲际机场	滑行道 T1	1	25.2	25.2	30.5	34.5		◆		VI	450	20%	200	1.2
休斯顿洲际机场	滑行道 T2	2	11.0+14.3	25.2	30.5	34.5		◆		VI	450	20%	200	1.2
休斯顿洲际机场	滑行道 T3	2	18.8+11.6	30.5	30.5	34.8		◆		VI	450	20%	250	1.6
休斯顿洲际机场	滑行道 T4	2	12.6+20.5	33.1	30.5	34.8		◆		VI	450	20%	250	1.3
休斯顿洲际机场	滑行道 T5&T6	2	22.9+22.9	45.7	30.5	34.8		◆		VI	450	20%	250	1.7
休斯顿洲际机场	滑行道 T1&T2	2	21.3+12.8	34.1	33.2	46.6	◆			V	450	20%	380	1.6
天港国际机场	滑行道 T	5	27.4+23.8+19.5+23.8+27.4	124.2	65.2	65.2			◆	V	680	70%	380	1.8
孟菲斯国际机场	跑道&滑行	2	17.7+21.9	39.6	355 <sup>2</sup>	356 <sup>2</sup>		◆		V	770		300	1.7

机场名称	桥梁位置	总体尺寸 (m)					结构类型			设计标准			桥面板厚度 (mm)	梁高 (m)
		桥跨数	跨径	总长	全荷载宽度	总宽	钢梁	预制混凝土	现浇混凝土	设计飞机组别	设计飞机总重 (t)	制动力		
	道 C													
孟菲斯国际机场	滑行道 S	2	17.7+21.9	39.6	65.2	65.2		◆		V	770		301	1.7
孟菲斯国际机场	滑行道 Y	6	9.1+12.2+9.1		30.5	61.6		◆		VI	770			
孟菲斯国际机场	滑行道 N	3					◆			VI	450			
坦帕国际机场	滑行道 J	3		30.5	22.9	41.1	◆			V	340			
奥兰多国际机场	滑行道 E	6	14.0+19.2+19.2+17.4+22.3+21.3	80.2	44.2	61.0	◆			V	450	70%	330	1.2
奥兰多国际机场	滑行道 F	6	14.0+19.2+19.2+17.4+22.3+21.3	80.2	44.2	61.0	◆			V	450	70%	330	1.2
奥兰多国际机场	滑行道 NC 西	2	29.0+35.0	64	57.3	66.1			◆	V	450	70%	NA	1.8
奥兰多国际机场	滑行道 NC 东	4	35.0+28.3+26.5+15.5	105	57.3	66.1			◆	V	450	70%	NA	1.8
洛杉矶国际机场										VI	570			

注：1. 空格表示调查方对该问题没有反馈。

2. 孟菲斯国际机场“跑道&滑行道 C”一行中的“全荷载宽度”和“总宽”包含了 1 座跑道桥和 2 座滑行道桥的总宽度。

## 附录 B 我国机场滑行道桥统计资料

机场	工程名称	尺寸特征 (m)					桥型	设计标准	桥面板厚度 (mm)	梁高 (m)	建成年代
		桥跨数	跨径	总长	可用宽度	总宽					
北京/首都	B5 # 桥—滑行西桥	1	14.26	14.26	60	60	预应力混凝土 T 梁	F 类			1993
	B7#桥—滑行东桥	3	17.09+16.25+17.09	50.43	44	52	单箱多室连续钢箱梁	E 类		0.89	2012
	B9 # 桥—1 # 滑行桥 B11 # 桥—2 # 滑行桥 B12 # 桥—3 # 滑行桥	2	9+9	26	44	52	钢筋混凝土闭合框架桥	E 类			1994
	B13 # 桥—5 # 滑行桥 B14 # 桥—5 # 滑行桥	2	2 × 16.25	35.5	44	45	预应力混凝土连续梁桥	E 类	280	1.2	2006
	B16 # 桥—4 # 滑行桥	2	2 × 16.25	35.5	44	59.52	预应力混凝土连续梁桥	E 类	280	1.2	2006
	B19 # 桥—北联下穿桥 B20 # 桥—北联下穿桥	1	19	19	44	45	预应力混凝土连续梁桥	E 类	280	1.2	2006
	B21 # 桥—13# 滑行桥 B22 # 桥—14# 滑行桥 B26 # 桥—10# 滑行桥 B28 # 桥—12# 滑行桥 B29 # 桥—7# 滑行桥 B31 # 桥—9# 滑行桥 B32 # 桥—4# 滑行桥 B34 # 桥—6# 滑行桥 B35 # 桥—1# 滑行桥 B37 # 桥—3# 滑行桥	1	22.4	22.4	61	61	钢筋混凝土闭合框架桥	F 类	320	1.5	2007

机场	工程名称	尺寸特征 (m)					桥型	设计标准	桥面板厚度 (mm)	梁高 (m)	建成年代
		桥跨数	跨径	总长	可用宽度	总宽					
	B27 # 桥—11#滑行道桥 B30 # 桥—8#滑行道桥 B33 # 桥—5#滑行道桥 B36 # 桥—2#滑行道桥	1	26.4	26.4	61	61	钢筋混凝土闭 合框架桥	F类	320	1.5	2007
	北区2号滑行道桥等	2	2×16.25	35.5	44	64	预应力混凝土 连续梁桥	E类	280	1.2	2008
	北区6号、7号滑行道桥	1	16	19	44	64	预应力混凝土 简支梁桥	E类	280	1.2	2008
北京大兴机 场	磁大路滑行道桥 (1座)	3	7.75+16.5+16.5	40.8	45	65.3	钢筋混凝土闭 合框架桥	E类		1.4	2019
	磁大路滑行道桥 (4座)	3	7.75+16.5+16.5	40.8	61	81.3	钢筋混凝土闭 合框架桥	F类		1.4	2019
上海/浦东	南进场路1号、2号滑行道桥	1	25.3	25.3	44	44	预应力混凝土 刚构桥	E类	280	1.6	2015
	拖机道桥	3	3×16	48	45	45	预应力混凝土 连续梁桥	E类	250	1.1	2013
	三期扩建飞行区桥梁工程 (ET1、WT1、ET4、WT4)	1	24	24	55.5	55.5	整体式桥梁	E类	232	1.6	2019
	三期扩建飞行区桥梁工程 (ET2-Q1、WT2-Q1)	1	24	24	54.25	54.25	整体式桥梁	E类	232	1.6	2019
	三期扩建飞行区桥梁工程 (ET2-Q3、WT2-Q3)	1	24	24	52.5	52.5	整体式桥梁	C类	230	1.3	2019
	三期扩建飞行区桥梁工程 (ET3-Q4、WT3-Q4)	1	24	24	52.7	52.7	整体式桥梁	C类	230	1.3	2019
	三期扩建飞行区桥梁工程 (ET3-Q6、WT3-Q6)	1	24	24	54.55	54.55	整体式桥梁	E类	232	1.6	2019

机场	工程名称	尺寸特征 (m)					桥型	设计标准	桥面板厚度 (mm)	梁高 (m)	建成年代
		桥跨数	跨径	总长	可用宽度	总宽					
	三期扩建飞行区桥梁工程 (ET5、WT5)	1	24	24	45	45	整体式桥梁	E类	232	1.6	2019
	三期扩建飞行区桥梁工程 (E类滑行道桥)	1	21.6	21.6	45~55.5	45~55.5	先简支后固接小箱梁	E类	280	1.6	2018
	三期扩建飞行区桥梁工程 (C类滑行道桥)	1	21.6	21.6	52.5~52.7	52.5~52.7	先简支后固接小箱梁	C类	250	1.3	2018
上海/虹桥	虹桥机场绕滑道系统安全改造工程	18	(12.5+13.6+13.4)+4×(13.4+13.6+13.4)+(13.4+13.6+12.5)	240.6	44	45	刚构桥	E类	262	1.2	待建
广州/白云	T1、T2滑行道桥	5	16+3×20+16	92	44	65.5	预应力混凝土连续梁桥	E类	250	1.3	2003
	T3滑行道桥	2	2×16	32	60	65.5	预应力混凝土筒支梁桥	F类	250	1.2	2009
	T4滑行道桥	2	2×16	32	44	65.5	预应力混凝土筒支梁桥	E类	250	1.2	2003
成都/双流	交通中心停机坪及滑行道项目飞机滑行道桥	4	30.977+2×39.425+30.977	152.804	45	45	预应力混凝土连续箱梁	E类	400	3.5	在建
	大件路下穿机场段改建项目	4	22+2×28+22	110	44	60	预应力混凝土连续箱梁	F类	300	2.5	2010
西安/咸阳	西垂滑1号滑行道桥	1	22.5	22.5	45	65	预应力混凝土筒支梁桥	E类	280	1.6	2011
	西垂滑2号滑行道桥	1	27	27	45	65	预应力混凝土筒支梁桥	E类	280	1.8	2011

机场	工程名称	尺寸特征 (m)					桥型	设计标准	桥面板厚度 (mm)	梁高 (m)	建成年代
		桥跨数	跨径	总长	可用宽度	总宽					
	西垂滑 3 号滑行道桥	1	23	23	61	80	预应力混凝土筒支梁桥	F 类	300	1.8	2011
	西垂滑 4 号滑行道桥	1	23.5	23.5	61	80	预应力混凝土筒支梁桥	F 类	300	1.8	2011
	西货运 G 滑行道桥	1	22.5	22.5	45	65	预应力混凝土筒支梁桥	E 类	280	1.8	2011
	西货运 F 滑行道桥	1	23	23	61	80	预应力混凝土筒支梁桥	F 类	300	1.8	2011
武汉/天河	飞行区 1 号滑行道桥 飞行区 2 号滑行道桥	5	21+3 × 30+21	132	45	45	预应力混凝土连续梁桥	E 类	280	2.0	2016
青岛/胶东	飞行区 1 号滑行道桥	2	2 × 22.85	45.7	61	81	预应力混凝土连续梁桥	F 类	280	1.6	2019
	飞行区 2 号滑行道桥	2	2 × 22.85	45.7	45	65	预应力混凝土连续梁桥	E 类	280	1.6	2019
海口/美兰	飞行区 1 号滑行道桥	2	23.35+26.85	50.2	45	65	预应力混凝土连续梁桥	E 类	300	2.0	待建
	飞行区 2 号滑行道桥	2	23.35+27.72	51.07	61	81	预应力混凝土连续梁桥	F 类	320	2.0	待建
	飞行区 3 号滑行道桥 飞行区 4 号滑行道桥	2	2 × 15.85	31.7	45	65	预应力混凝土连续梁桥	E 类	300	1.4	在建
乌鲁木齐/地窝堡	飞行区 1 号滑行道桥 飞行区 2 号滑行道桥	4	24.8+2 × 35.2+24.8	120	46.3	66.3	预应力混凝土连续梁桥	E 类	280	2.5	待建

## 参考文献

- [1] Segadaes Tavares. Funchal Airport Extension, Madeira Island, Portugal. Structural Engineering International. 2004; 14(4): 332-335.
- [2] Cristiano Ronaldo International Airport (Wikipedia). [https://en.wikipedia.org/wiki/Cristiano-Ronaldo-International\\_Airport#Runway](https://en.wikipedia.org/wiki/Cristiano-Ronaldo-International_Airport#Runway).
- [3] F. Branco, P. Mendes, J. de Brito. Study of the Efficiency of Aircraft Safety Barriers in Madeira Airport. J. Perform. Constr. Facil. 2008. 22: 316-322.
- [4] 野口孝俊, 渡部要一, 鈴木弘之等. 羽田空港D滑走路の設計. 土木学会論文集C(地圏工学). 2012; 68(1): 150-162.
- [5] Junichi Mizukami, Yasuo Matsunaga. Construction of D-Runway at Tokyo International Airport. The 15th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering. Japanese Geotechnical Society Special Publication. 122-134.
- [6] 鈴木紀慶, 板倉, 鈴木大介, 新原雄二. 羽田空港D滑走路におけるコンクリート構造物の概要. プレストレストコンクリート技術協会 第19回シンポジウム論文集(2010年10月).
- [7] 奥津宣孝, 林晋, 新原雄二, 大野茂則. 羽田空港D滑走路コンクリート構造物の維持管理. コンクリート工学. 2011; 49(5): 105-109.
- [8] Agostino Marioni, Pietro Marioni, Koji Kato, Yuji Niihara. The Expansion Joints for Runway D of the Haneda Airport. Sixth World Congress on Joints, Bearings and Seismic Systems for Concrete Structures. 2016.
- [9] Dale Stubbs, Kathryn Masters. Sustainability Solutions to Complex Support Issues - The 5th Runway at Hartsfield-Jackson Atlanta International. Airfield and Highway Pavements 2006.
- [10] Atlanta runway bridge being built over interstate.

<https://www.equipmentworld.com/atlanta-runway-bridge-being-built-over-interstate/>.

- [11] [http://www.heath-lineback.com/html/5th\\_runway.html](http://www.heath-lineback.com/html/5th_runway.html).
- [12] Atlanta Airport Prepares I-285 for Takeoffs.  
<https://www.constructionequipmentguide.com/atlanta-airport-prepares-i-285-for-takeoffs/4447>.
- [13] Scheme Development Report, Heathrow Expansion, Conclusion of Stage 2. Heathrow Airport Limited 2018.
- [14] Bruce A. Moulds. DESIGN CONSIDERATIONS FOR AIRCRAFT BRIDGES. J. Bridge Eng. 2001.6: 498-505.