

民航局机场司文件

民航机发〔2022〕13号

关于印发《跑道状态灯适用性研究报告》的通知

民航各地区管理局，各运输航空公司，机场公司，各机场建设单位，各有关民用机场专用设备检验机构、制造商：

为有效预防跑道侵入，降低人的因素影响，充分借鉴国外的成熟运行经验，民航局机场司组织研究跑道状态灯系统的设计和运行模式，并具体结合我国机场的跑滑构型和运行特点，编制了《跑道状态灯适用性研究报告》，现予以发布，供各单位参考。

该报告的电子版本可在民航局政府网站“机场司——政策发布”一栏下载。如有相关意见与建议，请及时函告我司。

民航局机场司

2022年9月9日



信息通告

中国民用航空局机场司

编 号：IB-CA-2022-02

下发日期：2022年9月9日

跑道状态灯适用性研究报告

前言

2016年，国际民航组织发布《国际民用航空公约》附件14卷I《机场—机场设计和运行》第七版，其中增加了跑道状态灯的相关技术要求。跑道状态灯系统是一种智能的、全自动的助航灯光系统，可以向飞行员和车辆驾驶员提供跑道占用情况的态势感知，是防止发生跑道侵入不安全事件的一种有效的新型技术手段。美国从2005年开始研发跑道状态灯，经过多年的研究和运行，相关技术已经趋近于成熟。全球目前已有20余个大型枢纽机场应用了跑道状态灯系统，欧美等国家在相关领域已有多年的运行经验，但我国民航机场对此仍然缺乏相关研究。为进一步筑牢民航机场运行安全基础，推进国际民航组织标准与建议措施的转化实施，为中国民航机场应用跑道状态灯提供技术指导，民航局机场司组织民航机场规划设计研究总院开展了跑道状态灯系统的专项研究。

本通告充分借鉴国外的成熟运行经验，研究了跑道状态灯系统的设计和运行模式，并具体结合我国机场的跑滑构型和运行特点，探讨跑道状态灯的设置方案，分析并提出相关设计要求。与此同时，由于我国大型枢纽机场已经普遍安装了停止排灯，停止排灯和跑道状态灯如何同时应用，如何避免潜在冲突与矛盾，也是本通告研究的重点方向。通过对有关资料和问题进行分析，本通告将对跑道状态灯的设计方案、机场的应用实施提出初步建议，用以指导机场的未来规划建设。

本通告在编制过程中，编写组对国内 25 个大型机场停止排灯的安装和使用状况进行了深入的调研分析，并实地走访调研法国巴黎戴高乐机场跑道状态灯的建设和使用状况；由于新冠疫情的原因，编写组对美国跑道状态灯系统的建设历程和实施效果进行了书面调研。通过大量研究与跑道状态灯系统相关的国内外报告、文献等研究成果，多次组织多领域专家召开课题研讨会，反复修改并完善，最终形成本通告。

本通告共分为 10 个章节，主要内容包括停止排灯防跑道侵入作用分析、跑道状态灯防跑道侵入作用分析、跑道状态灯在美国的实施情况、欧洲的典型案例分析、跑道状态灯在我国的适用性分析和跑道状态灯的设计指南。本通告由民航机场规划设计研究总院有限公司负责日常管理。如有意见或建议，请及时函告本通告日常管理组（联系人：李琛；地址：北京市朝阳区惠新东街甲 2 号住总地产大厦 18 层；邮编：100101；电话：010-64923034），以便日后修订参考。

主编单位：民航机场规划设计研究总院有限公司

参编单位：安赛泊（北京）机场助航技术有限公司

上海航安机场设备有限公司

主 编：张云青

参编人员：李琛、庞雪峰、屈晋、赵家麟、王莹旭、沈家钦、谢昌林、王震、关鹏

主审人员：马志刚、郭竟成、冯晓磊、俞亚瓌、赵继伟、叶敏、杨建红、刘玉红、贾涛、刘圆圆、于凤虎、陆琴谦、李玉杰、杨嘉、朱盼、朱庆军

目 录

1 术语和缩略语	1
1.1 术语	1
1.2 缩略语	4
2 研究背景	5
3 研究的必要可行性	6
3.1 研究必要性	6
3.2 研究可行性	8
4 停止排灯的防跑道侵入作用分析	9
4.1 停止排灯的设计理念	9
4.2 国内机场停止排灯安装运行状况	11
4.3 停止排灯防跑道侵入作用分析	14
4.4 停止排灯防跑道侵入改进建议	18
5 跑道状态灯的防跑道侵入作用分析	20
5.1 跑道状态灯的技术特点	20
5.2 跑道状态灯的工作原理	21
6 跑道状态灯在美国的实施情况	25
6.1 跑道状态灯在美国的发展历程	25
6.2 跑道状态灯系统在全美繁忙机场的推广	32
6.3 美国安装跑道状态灯系统实例	33
6.4 跑道状态灯在美国的实施效果	46

7 跑道状态灯在欧洲的典型案例	51
7.1 法国巴黎—戴高乐机场的介绍	53
7.2 戴高乐机场跑道状态灯的发展历史	54
7.3 戴高乐机场跑道状态灯系统的应用情况	56
7.4 戴高乐机场跑道状态灯与停止排灯的配合	65
7.5 戴高乐机场跑道状态灯调研成果总结与思考	66
8 跑道状态灯在我国的适用性分析	69
8.1 跑道状态灯的安装及其作用分析	70
8.2 跑道状态灯的设置方案及其作用分析	73
8.3 跑道状态灯、停止排灯的设置及其适用性分析	78
9 跑道状态灯设计指南	79
9.1 系统总体配置要求	79
9.2 跑道状态灯的设计	81
9.3 停止排灯的优化设计	92
9.4 跑道状态灯的运行建议	92
10 参考文献	93

1 术语和缩略语

1.1 术语

1.1.1 I 类 (CAT I) 运行 operational standards of CAT I

使用仪表着陆系统，决断高度低于 75m 但不低于 60 m，能见度不小于 800 m 或跑道视程不小于 550 m 的精密进近和着陆。

1.1.2 II 类 (CAT II) 运行 operational standards of CAT II

使用仪表着陆系统，决断高度低于 60 m，但不低于 30 m，跑道视程不小于 300 m 的精密进近和着陆。

1.1.3 III 类 (CAT III) 运行 operational standards of CAT III

仪表着陆系统的 III 类运行分为 A、B、C 三类。

III A 类运行：使用仪表着陆系统，决断高度低于 30 m，或无决断高度，跑道视程不小于 175 m 的精密进近和着陆。

III B 类运行：使用仪表着陆系统，决断高度低于 15 m，或无决断高度，跑道视程小于 175 m，但不小于 50 m 的精密进近和着陆。

III C 类运行：使用仪表着陆系统，无决断高度和无跑道视程限制的精密进近和着陆。

1.1.4 场面监视雷达 surface movement radar

通过辐射电磁波，并检测、处理地面物体对辐射电磁波的反射信号，实现信号覆盖范围内所关注目标（航空器、车辆、障碍物等）检测和监测的雷达设备。

1.1.5 多点相关定位系统 aerodrome surface multilateration systems

主要采用到达时间差定位技术，通过获取二次监视雷达应答机发射信号来确定机场场面航空器位置和识别信息的一组设备。

1.1.6 二次监视雷达系统 secondary surveillance radar system

通过地面询问机的询问和空中机载应答机的应答给装有机载应答机的飞行器定位的雷达系统。

1.1.7 广播式自动相关监视 automatic dependent surveillance—broadcast (ADS—B)

由机载星基导航和定位系统生成精确的航空器及其他动目标自身定位信息，通过特定数据链和格式进行周期性自动监视信息广播，并由特定地面站设备和（或）其他航空器进行监视的接收和处理手段。

1.1.8 高级场面活动引导与控制系统 advanced surface movement guidance and control system (A—SMGCS)

在满足机场能见度运行等级的所有气象条件下，为了航空器和车辆能保持公布的运动速率且同时保持要求的安全性而对其提供路由、引导及监视以进行控制的系统。

1.1.9 恒流调光器 constant—current regulators (CCR)

用以调节机场助航灯光亮度的设备。

1.1.10 机场旅客吞吐量 handling passenger capacity of an airport

是指报告期内乘坐飞机进出机场的旅客人数，成人和儿童均按一人计算，婴儿不计人数，以人次为单位。

1.1.11 机场能见度运行等级 aerodrome visibility operational

level (AVOL)

在该能见度及其上水平可以保持预定运动速率的最低能见度。

1.1.12 空管自动化系统 air traffic control automation system

实施空中交通管制所使用的计算机综合系统，包括运行系统和配套系统。

1.1.13 空中交通管制 air traffic control (ATC)

相应机构为促进空中交通的安全、有序和迅速流动而进行的服务。

1.1.14 跑道等待位置 runway—holding position

为保护跑道、障碍物限制面或仪表着陆系统 (ILS)、微波着陆系统 (MLS) 临界区/敏感区而设定的位置，在此处行进中的航空器和车辆应当停住并等待，除非得到机场塔台的批准。

1.1.15 跑道侵入 runway incursion

航空器、车辆或人员未经许可出现在指定用于航空器降落和起飞的保护区域内的情况。

1.1.16 跑道视程 runway visual range (RVR)

航空器驾驶员在跑道中线上，能看到跑道道面标志、跑道灯光轮廓或辨认跑道中线的距离。

1.1.17 跑道状态灯 runway status light (RWSL)

一种跑道侵入自主警告系统，两个基本目视组成部分是跑道进入灯 (RELS) 和起飞等待灯 (THLs)，两者均可单独安装。

1.1.18 停止排灯 stop bar

为正在滑行道上行驶的航空器或车辆驾驶员提供停止或通行信号的一种灯光系统。

1.1.19 协同决策系统 airport collaborative decision making system (A-CDM)

为保障协同运行机制的执行,以及为参与方和利益相关方的协作配合而建立的技术支撑平台。

1.1.20 一次监视雷达 primary surveillance radar

通过自主辐射电磁波并检测到飞行器对该电磁波反射进而对飞行器进行空中定位的雷达设备。

1.1.21 助航灯光 navigational lighting aid

为航空器在夜间或低能见度情况下起飞、着陆、滑行提供目视引导而设于机场内规定地段的灯光总称。

1.1.22 助航灯光隔离变压器 isolation transformer for airport lighting

专用于助航灯光串联供电回路的隔离变压器。

1.2 缩略语

FAA	Federal Aviation Administration (U. S.)	联邦航空局 (美国)
FAROS	Final Approach Runway Occupancy Signal	最后进近跑道占用指示灯
ICAO	International Civil Aviation Organization	国际民航组织
ILS	Instrument landing system	仪表着陆系统
RELS	Runway Entrance Lights	跑道进入灯
RILs	Runway Intersection Lights	跑道交叉口灯
THLs	Take-off Hold Lights	起飞等待灯

2 研究背景

当前我国各大机场航班量快速增长，同时发生地面安全隐患的概率也紧随骤升；我国机场主要采用增加跑道数量和提高跑道运行效率以提高跑道容量。截止到 2019 年底，我国通航的双跑道或多跑道机场数量已达 17 个，但大多数机场均存在两条跑道或多条跑道设置在航站楼同侧的现象。虽然跑道容量有了大幅度的提升，但不可避免的增加了穿越跑道的滑行次数，存在极大的安全隐患。有研究表明，每增加 20% 的空中交通流量，发生跑道侵入的风险有可能增加 140%。跑道侵入发生的频率与穿越跑道的次数、机场布局特点等因素紧密相关。大型机场复杂的平面构型（多跑道、交叉道口众多）和运行规则，很大程度地增加了跑道侵入发生的可能性。全球范围内，每年因跑道侵入而引发的航空安全事件所造成的损失平均在 1 亿美元以上。近几年，在我国因跑道穿越所造成的跑道侵入事件时有发生。据统计，2015 年至 2020 年间，在我国因机场责任原因造成的跑道侵入事件一共发生 41 起。

同时，低能见度天气的增多使得大型机场 II/III 类运行情况增多，塔台人员、地面移动的飞机/车辆驾驶员视线有限，造成保障运行的压力急剧加大。面对这种复杂多变的情况，传统的目视助航灯光系统已经不能够解决迫在眉睫的安全隐患。

《民航空管防止跑道侵入指导材料》（IB-TM-2013-002）中指出，“管制员与飞行员或机动区车辆驾驶员之间的无线电通话失误，是跑道侵入中的常见因素。”为了有效预防跑道侵入事

件的发生，通过采用智能自动化系统，减少人为因素（空管、飞行员、车辆司机）所造成的安全漏洞，是先进技术应用的方向。跑道状态灯，作为其中一个方向，通过目视助航灯光很直观地向飞行员和车辆驾驶员提供跑道占用情况，达到警示作用，从而降低跑道侵入的次数。由于该系统是一套全自动系统，不依赖人工操作，无疑为机场跑道的安全运行提供了一道可靠防线。

3 研究的必要可行性

3.1 研究必要性

3.1.1 跑道状态灯是提高跑道安全运行的有效手段

目前，部分机场的空管塔台可通过高级场面活动引导与控制系统（A-SMGCS）对机场场面飞机、车辆等目标提供监视、提示、路由规划及引导服务。A-SMGCS系统是一个高度自动化的计算机系统，当实现II级的监视、告警功能时，该系统能对即将出现的跑道侵入事件进行分析判断，并给塔台管制员们发出警告，以便他们及时采取必要的措施来避免跑道侵入事件的发生。尽管如此，但由于各个机场实现的级别程度不同，也不能完全避免人为因素所造成的安全漏洞，以及应对飞行区内多变的意外情况。此时，机场辅助设备特别是目视助航灯光设备显得尤为重要。跑道状态灯，作为一套独立的自动控制系统，是对塔台管制员的操作命令的补充，可向准备穿越跑道或者准备起飞的飞行员提供红色警告，是机场提高跑道安全运行的有效手段。

3.1.2 跑道状态灯是停止排灯的有效补充

跑道状态灯（Runway status lights，简称“RWSL”）和停止排灯是目前国际上广泛应用的两种不同的防止跑道侵入的助航灯光体系。它们的构成、运行规则和实际效果虽然各有不同，但都能通过目视灯光向飞行员或车辆驾驶员提供告警信息，具有防止跑道侵入的作用。美国联邦航空管理局（后简称“FAA”）推广应用跑道状态灯，国际民航组织（后简称“ICAO”）推广应用停止排灯。目前，我国 II/III 类运行机场普遍设计安装了停止排灯，跑道状态灯的应用尚属空白。

跑道状态灯和停止排灯的作用有相似之处但也有差异。相似之处是两者都能通过目视助航灯光向飞行员或车辆驾驶员提出警告，防止跑道侵入的发生。差异之处是，停止排灯在使用中需要依附于机场运行类别和管制人员的介入，通常在 II/III 类天气运行条件下使用；跑道状态灯是自动运行的系统，不依附于天气等其他外在条件和塔台管制人员的干预。

在过去的十几年里，全球很多大型机场展开了跑道状态灯的相关测试或实际运行，如美国奥兰多国际机场、巴黎戴高乐机场及日本羽田机场等。事实证明，虽然与停止排灯在运行规则和实际效果方面各有不同，但跑道状态灯在防止跑道侵入方面更被看好。鉴于这一点，2016 年 7 月 ICAO 颁布的《机场—机场设计和运行》（《国际民用航空公约》附件 14 第 I 卷）（注：后简称“附件 14”）第七版增加了跑道状态灯的内容，这意味着机场地面安全监测的高新技术使用已得到了国际民航组织的重视。因此，

研究跑道状态灯在我国机场现有状态下的适用性，提出具体的可实施方案迫在眉睫。

3.2 研究可行性

3.2.1 技术成熟性

为了有效预防跑道侵入，降低人为因素的影响，美国 FAA 从 2005 年开始主导并开发了跑道状态灯技术。到目前为止，全球已经有超过 20 个大型机场成功运行了跑道状态灯，所以跑道状态灯在近 18 年的发展过程中，相关技术已经趋近于成熟。

3.2.2 技术兼容性

跑道状态灯由跑道进入灯（Runway entrance lights，简称“RELs”）和起飞等待灯（Take-off hold lights，简称“THLs”）及相关控制子系统组成。跑道状态灯的数据源主要由塔台管制的场监融汇系统所提供，用以监测、定位机场场面上的飞机、配备有应答机的车辆以及附近的飞机。场监融汇系统可整合多种数据源，主要包括：空管一/二次监视雷达、场面监视雷达、多点相关定位系统、广播式自动相关监视系统等监视信息源。同时，场监融汇系统可与空管自动化系统、协同决策系统、航行情报系统及进场管理系统等交互航班运行数据。由于场监融汇系统的数据源主要是由空管设施提供的，所以建设跑道状态灯系统并不需要额外增加大量的基础设施建设。同时，跑道状态灯系统的运行不需要塔台管制员的介入，也不干扰机场自有的模式，是对现有管制规则的补充，可与现存的程序相兼容。在不影

响机场交通流量和适应各个机场运营的同时，又给机场额外增加了一道安全防线。

因此，研究跑道状态灯在我国机场现有状态下的适用性，提出具体的可实施方案，无论是从硬件设施建设方面，还是软件技术融合方面都是可实施的。

4 停止排灯的防跑道侵入作用分析

4.1 停止排灯的设计理念

4.1.1 应用

《民用机场飞行区技术标准》(MH5001—2021)中对停止排灯的设置分成三种情况，即：在每一个通向拟在跑道视程小于550 m 情况下使用的跑道，在跑道等待位置以及拟实行停止或放行控制的中间等待位置处，应设停止排灯。在夜间和跑道视程大于550m 情况下使用的跑道，在跑道等待位置宜设置停止排灯，作为防止跑道侵入的有效措施之一。当要求用灯光来补充标志并用目视方法实施交通管制时，应在中间等待位置处设置停止排灯。

4.1.2 位置和特性

停止排灯应设在滑行道上要求航空器停住等待放行之处，由若干个朝向趋近停止排灯的航空器发单向红色光的嵌入式灯组成。停止排灯应横贯滑行道，灯具均匀分布，间距不大于3 m。

通常停止排灯开亮表示禁止通行，关灭表示许可通行。如果在与跑道相关联的一个滑行道口，有一组以上的停止排灯，在任何时刻只可开亮一组。有选择地进行开关控制的停止排灯的电路设计，应使得停止排灯开亮时其前方不小于90m 以内的滑行道

中线灯熄灭，反之亦然。

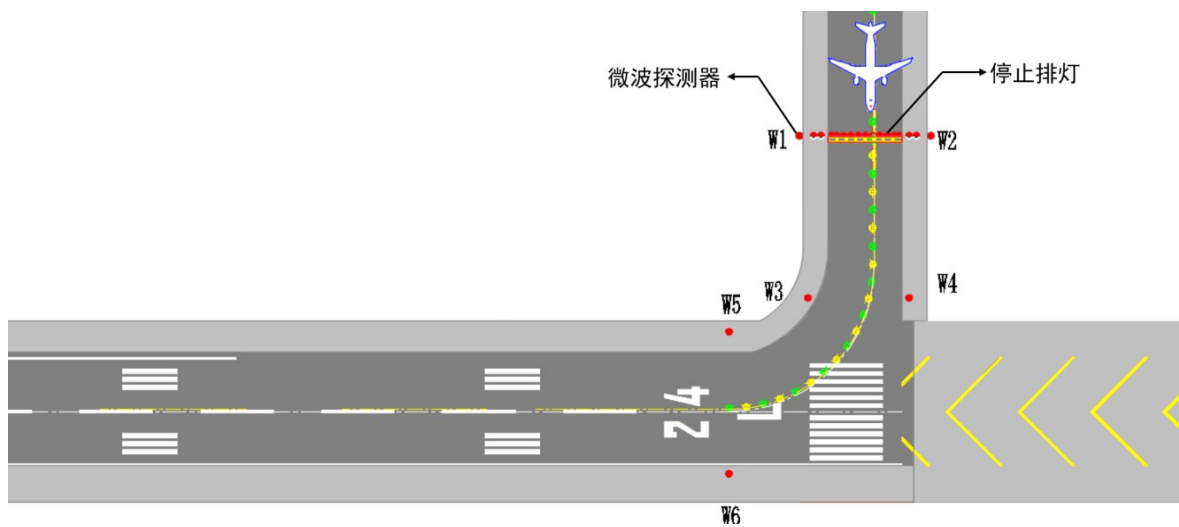


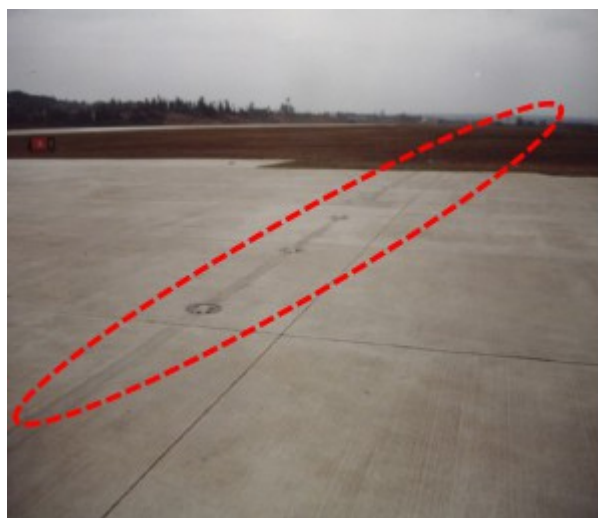
图 4-1 停止排灯设置示意图



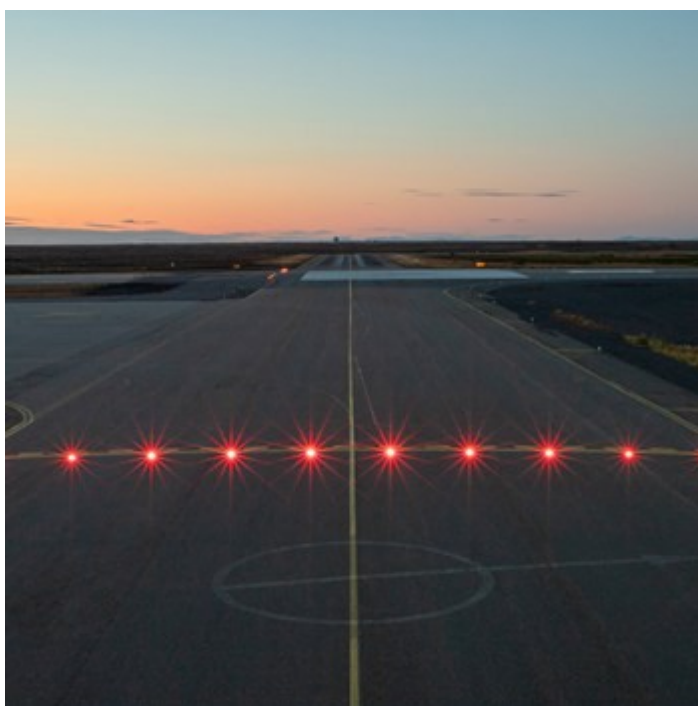
a) 嵌入式停止排灯



b) 立式停止排灯



c) 现场照片 1



d) 现场照片 2

图 4—2 停止排灯

4.1.3 供电要求

为了提高供电可靠性，每一排的停止排灯应隔灯分为两组，由两个不同的串联回路供电，或采取其他措施以确保不致因线路故障造成全部灯具停电。停止排灯应有应急电源。应急电源应能自动投入，投入速度应能满足停止排灯灯光转换时间不大于 1s 的要求。

4.2 国内机场停止排灯安装运行状况

附件 14 中规定在每个通向跑道的滑行道口的 II/III 类跑道等待位置处应设置停止排灯。停止排灯的控制方式可由空中交通服务部门进行人工控制，也可以根据电子进程单采用自动控制。停止排灯与滑行道中线灯互锁动作，为飞机滑行提供明确的目视

助航灯光引导。

据此，作为防跑道侵入的主要措施之一，我国机场 II/III 类运行的跑道大多装设了停止排灯；部分大型机场和西南地区年旅客吞吐量 100 万人次以上的机场要求在跑道 I 类等待位置也装设停止排灯。停止排灯在 II/III 类天气条件下按照标准使用，安装在 I 类等待位置的停止排灯在 I 类天气条件下使用。

为保障航班准点率，提高机场保障能力，特别是低能见度下的运行保障能力，民航局要求越来越多的大型机场开放 II/III 类运行。2013 年 3 月，民航局下发了《关于组织开展大中型机场 II、III 类运行项目方案论证工作的通知》（局发明电〔2013〕400 号），提出 1000—2000 万人次机场按照至少 1 条跑道主降方向 III 类配置，近期 II 类运行；双跑道的机场另 1 条跑道的一端满足 II 类起飞使用。据此，我国年旅客吞吐量 1000 万人次以上的机场大多完成了 II/III 类改造，相应滑行道口设置了停止排灯。

截至到 2019 年底，我国年吞吐量 2000 万人次以上的机场达到 24 个，如表 4—1 所示；1000—2000 万人次的机场有 15 个。为此，对国内年吞吐量 2000 万人次以上的 24 个机场和北京大兴国际机场进行了停止排灯的安装使用状况调研。25 个机场停止排灯的安装使用情况如图 4—3 所示。结果表明，在调研的 25 个机场中，停止排灯安装使用情况良好的机场仅占 20%；16% 的机场认为虽然已运行停止排灯，但其使用效果并不理想。由此可见，停止排灯的低使用率使其防跑道侵入的作用远没有发挥。

表 4—1 2019 年全国旅客吞吐量 2000 万人次以上机场排名

序号	机场名称	旅客吞吐量 (万人/次)
1	北京首都国际机场	10001
2	上海浦东机场	7615
3	广州白云机场	7337
4	成都双流机场	5585
5	深圳宝安机场	5293
6	昆明长水机场	4807
7	西安咸阳机场	4722
8	上海虹桥机场	4563
9	重庆江北机场	4478
10	杭州萧山机场	4010
11	南京禄口机场	3058
12	郑州新郑机场	2912
13	厦门高崎机场	2741
14	武汉天河机场	2715
15	长沙黄花机场	2691
16	青岛流亭机场	2555
17	海口美兰机场	2421
18	乌鲁木齐地窝堡机场	2396
19	天津滨海机场	2381
20	贵阳龙洞堡机场	2191
21	哈尔滨太平机场	2077
22	沈阳仙桃机场	2054

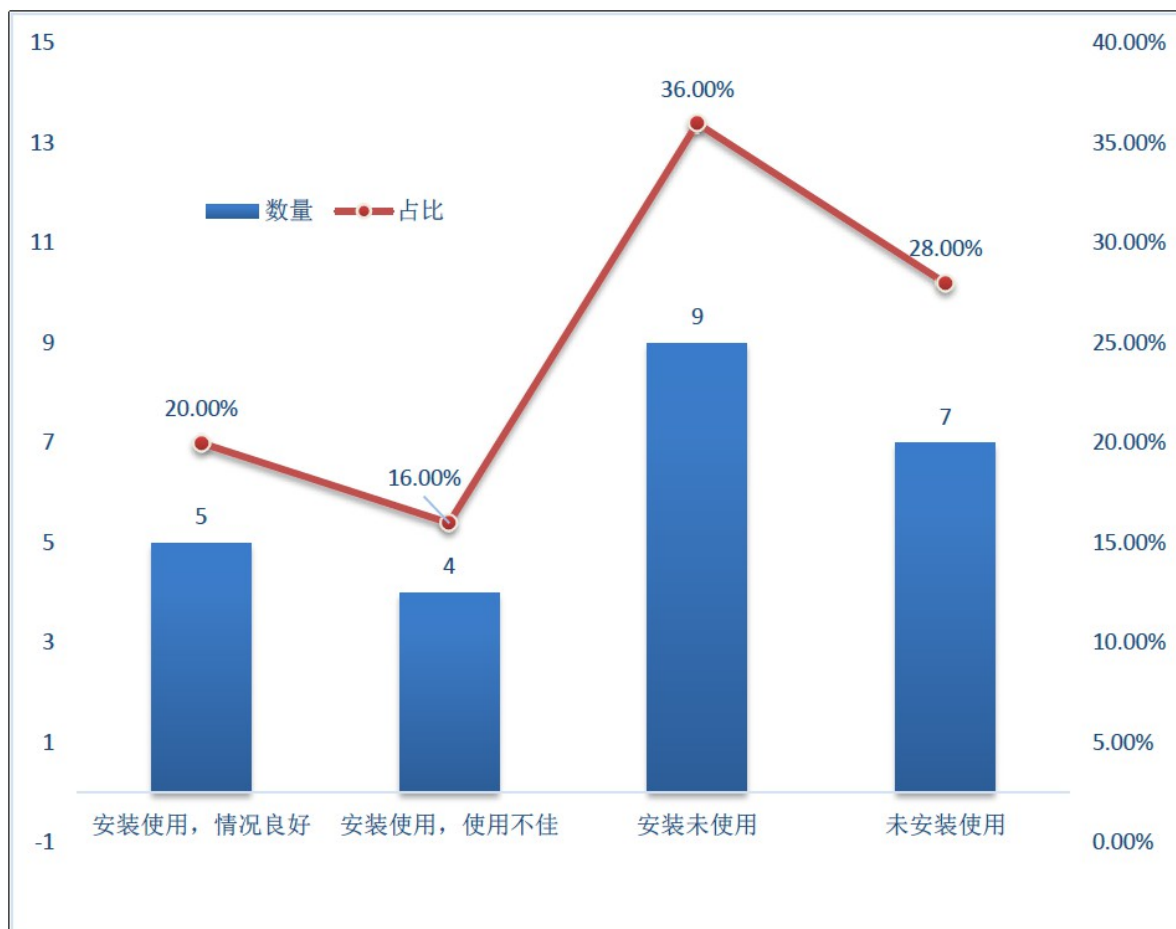


图 4—3 国内机场停止排灯安装使用情况

4.3 停止排灯防跑道侵入作用分析

国际民航组织提出跑道侵入原因主要包括：飞行员因素、空中交通管制员因素、车辆驾驶员因素和机场设计构型等因素。有数据统计显示，从发生的“跑道侵入”的责任方看，飞行员因素造成的侵入事件占 53%，管制员因素造成的占 29%，18%为其他各类原因。所以，停止排灯的构型，以及停止排灯与其前方至

少 90m 的滑行道中线灯形成的互锁模式，可以为飞行员提供良好的视觉感知，对于防止跑道侵入的作用应该是不容置疑的。但为何停止排灯在我国的使用会遭遇“水土不服”？在调研的 25 个大型机场中，少数机场未安装停止排灯的主要原因有：一是该机场 II/III 类天气情况非常少；二是该机场不具备开放 II/III 类运行的条件。例如，局发明电〔2013〕400 号明确提出上海虹桥、厦门高崎、大连周水子机场不实施 II/III 类改造。

对于已安装但未使用停止排灯的机场，经调研发现，限制停止排灯发挥作用的因素主要集中在设计运行和硬件技术两大层面。由表 4-2 可以看出，超出一半的机场因停止排灯人工控制和依赖气象条件运行两个因素而未使用停止排灯。

表 4-2 已安装停止排灯但未使用原因

序号	原因	机场占比
1	没有与塔台电子进程单联动，需要管制人员的介入，增加了管制人员的工作量	44%
2	由于设置方案或设施设备的原因，造成停止排灯不能正常运行	23%
3	由于没有全场实施停止排灯，考虑安全运行的因素，空管不予使用	22%
4	当地 95% 以上的气候为 I 类天气条件，所以未开启使用	11%

4.3.1 停止排灯 II/III 类天气条件使用的局限性

虽然我国大型机场 II/III 类跑道等待位置已设计安装了停止

排灯，但是由于机场 95% 以上的时间是运行在 I 类天气条件下，因此绝大部分时间并没有开放 II/III 类运行。同时，附件 14 中建议在 I 类跑道等待位置处设置停止排灯，并非强制。在我国，除西南地区年旅客吞吐量 100 万人次以上的机场，大多数机场 I 类跑道等待位置没有安装停止排灯。在所有能见度或气象条件下，跑道侵入事件都可能发生，因此停止排灯的安装开放依附于机场运行类别，所以使其在防跑道侵入方面有很大的局限性。

4.3.2 停止排灯的控制增加了管制人员的工作量

飞机进入、穿越、起飞、降落在跑道上运行的许可必须从塔台管制员处获得，目前我国停止排灯的控制是通过助航灯光监控系统的塔台计算机界面控制，大多未接入塔台进程单系统，需要管制员人工操作控制停止排灯的开启、熄灭。这无疑给繁忙的管制员增加了额外的工作，这也是我国很多大型机场虽然安装了停止排灯，但并未启用的主要原因。

4.3.3 停止排灯设计、运行中的缺陷

停止排灯系统仅通过微波探测器覆盖了道口位置。停止排灯的单灯监控单元一般采用载波通讯的方式接收/执行塔台的开启/熄灭指令，进而联动停止排灯前方至少 90 米范围内的滑行道中线灯灯组，从而引导飞机安全通过滑行道口，进入跑道执行起飞任务。

停止排灯的设计仅覆盖了通向跑道的滑行道道口，不能与跑道的全部使用状态形成联动；无法跟踪到实时降落或起飞的航班

状况；因此仅能在微波探测器覆盖范围内避免跑道侵入，不能完全避免跑道侵入的发生。

当塔台管制员误操作或空管指令不明确等人为因素发生时，停止排灯便不能发挥作用。停止排灯不能避免人为因素造成的跑道侵入事件的发生。

4.3.4 设施设备不能完好运行

(1) 根据运行规则，停止排灯仅在低能见度情况下使用，由于没有长时间、高频率的使用停止排灯控制系统，系统运行的稳定性无法得到充分的验证。同时，通常因为塔台操作席位空间有限，停止排灯控制系统通常仅由平板电脑控制，平板电脑长时间待机不使用，会出现电脑系统崩溃、软件故障及触摸屏故障等。虽然一般重做系统、重新安装软件、重启或者切换备机，随即可以恢复正常，但对于塔台管制员的工作效率和使用感受并不友好。

(2) 现今停止排灯的控制技术基本采用电力载波进行通讯，通讯质量受调光器、回路状态等因素影响，存在通讯不稳定的情况，需要定期重新调校通讯。同时，各个厂家的单灯监控技术水平差异很大，单灯监控系统的稳定性、准确率、系统反应时间存在较大的差异，现场灯具常出现控制延迟或者无法控制的情况。

(3) 微波探测器经常或受雷击发生故障，或被机械损坏，或被积雪遮挡，冬季尤其易被损坏。一般现场维修、维护或是更换零件即可恢复正常。但维护成本较高，影响停止排灯的使用

效率。

综上所述可以看出，微波探测器本身易损坏，易受积雪等环境因素的影响，导致探测精度不佳；载波通信延迟、信号不稳定；单灯监控单元和计算机监控系统的可靠性等诸多设备因素，使得停止排灯在防跑道侵入方面的效果并不稳定。

4.3.5 全场运行模式不一致

由于一些机场老跑道区域并未进行停止排灯系统的升级改造，导致全场布局和运行规则不一致，出于安全运行的考虑，空管不予使用。

4.4 停止排灯防跑道侵入改进建议

4.4.1 停止排灯依附运行类别的局限性改进

附件 14 中要求每个通向跑道的滑行道口的 II/III 类跑道等待位置处设置停止排灯，并在相应天气下使用。同时也建议在 I 类跑道等待位置处设置，起到防跑道侵入作用。我国西南地区旅客吞吐量 100 万以上的机场已经照此执行，并起到了一定的作用。

对于大型繁忙机场，如果在每个通往跑道的滑行道口的 I 类跑道等待位置处设置停止排灯，则是相当大的工程量。如果这些大型机场不增加 I 类等待位置停止排灯，在 I 类天气情况下开放 II/III 类等待位置处的停止排灯，其局限性会大幅改善。但是，由于 II/III 类等待位置距离跑道更远，会使机场运行效率下降。

因此，在 I 类等待位置安装停止排灯的机场，建议与塔台电

子进程单联动；对于大型机场，建设跑道状态灯是改善现有依附运行类别局限性的有效措施。

4.4.2 停止排灯控制方式的改进

调研表明，我国停止排灯安装不被使用的主要原因是需要塔台管制员人工介入，这种控制方式不仅给繁忙的管制人员增加了负担，也增加了跑道侵入人为因素的风险。将停止排灯系统与电子进程单联动，使得停止排灯的开启、熄灭自动进行，会彻底解决这一问题，并且实施的难度和投资都不大。目前我国上海浦东机场、郑州新郑机场已经实施，成都双流机场正在实施，多数大型机场希望实施。因此，停止排灯与塔台电子进程单联动，能将停止排灯的控制从手动变为自动，改变停止排灯安装未启用的现状，实施迫在眉睫。

4.4.3 停止排灯设计、运行中的缺陷的改进

为停止排灯设置的微波探测器，其探测范围仅覆盖通向跑道的部分滑行道道口，不能与跑道的全部使用状态形成联动是停止排灯与跑道状态灯的主要差别，这也是虽然已经安装停止排灯，但仍需要引入跑道状态灯的原因之一。至于停止排灯系统中设备的原因，在加强维护的同时随着设备技术的不断进步会逐步解决。例如：

(1) 采用正弦波调光器、保持较好的回路绝缘、采用功率足够且可靠的隔离变压器、提高单灯控制器的可靠性、稳定性；

(2) 优化灯光监控系统的单灯控制指令和模块化，确保通信

响应及时和稳定性；

(3) 避免频繁操作导致通讯掉帧或拥堵；

(4) 与空管控制系统的指令对接，做到安全可靠。

(5) 对于微波探测器的覆盖问题和自身可靠性问题，建议引入场监雷达、多点相关定位、全景视频等手段，提高控制场景的准确性，未来设计中减少或者替代使用微波传感器作为中间判断因素。

停止排灯在我国机场防跑道侵入方面，未发挥应有的作用。研究跑道状态灯在我国机场的适用性，首先应分析现有停止排灯的防侵入作用，分析其不足之处，提出改进措施，使得各机场已经安装的停止排灯发挥最佳作用。在此基础之上，研究跑道状态灯的适用性，作为现有系统的补充加强，使得两套系统相得益彰，避免重复投入造成浪费。

5 跑道状态灯的防跑道侵入作用分析

5.1 跑道状态灯的技术特点

为了有效预防跑道侵入，降低人为因素的影响，FAA从2005年开始主导并研发了跑道状态灯技术。通过灯光直接向飞行员和车辆驾驶员传递信息，告知准确及时的跑道占用情况，以增强其情景意识，从而降低跑道侵入的频率和严重程度，防止跑道侵入事故发生。跑道状态灯不干扰机场运行，与现有的运行程序和灯光系统兼容；它只是提示跑道状态，是放行或穿越指令的目视补充；因此，在保证交通流量、适应各个机场的运行情况的同时

时，为安全增加了一道可靠的防线。

5.2 跑道状态灯的工作原理

跑道状态灯是由跑道进入灯（RELs）、起飞等待灯（THLs）及相关控制子系统组成。它的工作原理是通过整合机场内多种数据来源，包括多点相关定位系统、场面监视雷达系统、广播式自动相关监视系统和进近雷达系统等，以定位飞机或车辆的位置并辨识它们，根据跑道状态灯处理器的动作逻辑输出动作命令，对跑道状态灯进行开关控制，达到警示机组人员或者车辆司机的作用，以提示此时穿越跑道或起飞并不安全。

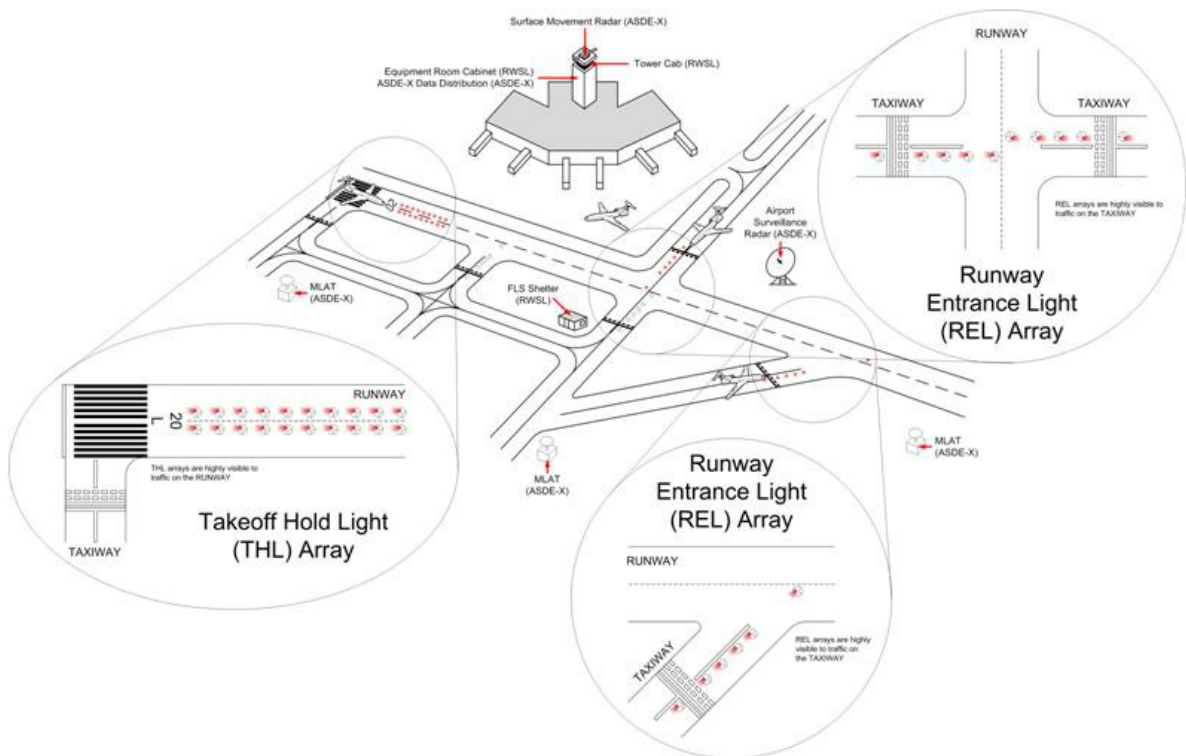


图 5—1 跑道状态灯系统

5.2.1 跑道进入灯（RELs）构成

跑道进入灯（RELs）是由一组红色单向发光的嵌入式灯具

组成，它位于与跑道交叉的滑行道道口处，布置在滑行道中线灯的对侧，从距跑道最近的跑道等待位置开始，一直延伸到跑道边线处，在跑道上离跑道中线 0.6 米处额外安装一个灯，并与滑行道上最后两个跑道进入灯对准。跑道进入灯应至少包括 5 个灯具，并且需要根据所涉滑行道的长度，保持最小 3.8 米及最大 15.2 米的纵向间隔，但安装在跑道中线附近的那个灯除外。

当跑道进入灯 (RELS) 激活亮起时 (红色)，表示跑道正在被其他飞机或者车辆占用，此时进入或穿越跑道并不安全。跑道进入灯应在该系统确定需要发出警告后 2 秒内开亮。

5.2.2 起飞等待灯 (THLs) 构成

起飞等待灯 (THLs) 是由若干组红色单向发光的嵌入式灯具组成，每组 2 盏，分别设置在跑道中线灯两侧 1.8 米处，从距离跑道端约 115 米处开始，向起飞方向成对延伸，每 30 米一组，至少延伸 450 米，朝向准备起飞的飞机发光。起飞等待灯 (THLs) 应具有延续性，当一条跑道具有多个起飞入口或短距起飞入口时，应当顺延布置，使其满足无论飞机从哪个入口进入跑道准备起飞，飞机前方的起飞等待灯长度始终满足 450 米。

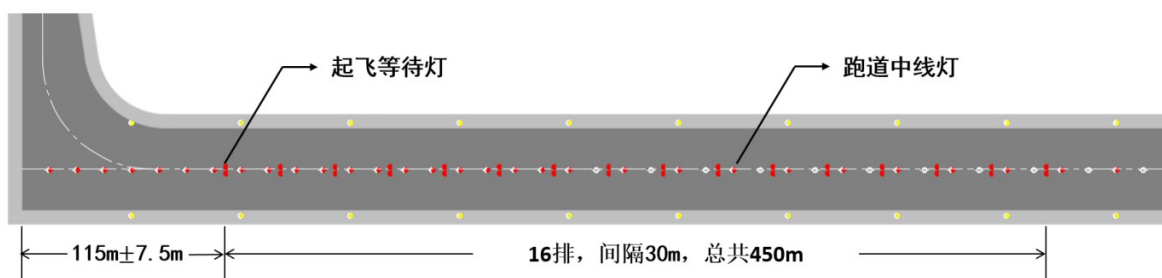


图 5—2 起飞等待灯的布置示意图

当起飞等待灯（THLs）激活亮起时（红色），向准备起飞的飞机警示：跑道马上或者正在被占用，此时起飞不安全，必须终止起飞任务。起飞等待灯应在该系统确定需要发出警告后 2 秒内开亮。

5.1 跑道状态灯的运行规则

5.3.1 跑道进入灯（RELs）运行规则

对于飞行员：

- 飞行员处于或靠近某一跑道等待位置时，若此时有飞机或车辆在跑道上运行，或者进港飞机在距跑道入口不足 D1 距离（例如：1.61 公里，可根据机场情况自行确定）处运行，则会观察到跑道进入灯（RELs）亮起。
- 当飞行员观察到跑道进入灯（RELs）亮起时，要在跑道等待位置前停下并保持停止状态。
- 跑道进入灯（RELs）灯光熄灭时，没有塔台管制许可不能前进。
- 如果塔台管制许可和灯光冲突，飞行员需要联系塔台管制解决。
- 如果飞行员注意到跑道进入灯（RELs）亮起时，但因为安全原因撤离跑道不可行（例如飞机已经上跑道），机组应认识到亮起的跑道进入灯（RELs）表明进入或穿越跑道不安全，并根据自己的最佳判断进行下一步动作，同时尽快和塔台管制联系。

对于车辆驾驶员：

- 当车辆驾驶员观察到跑道进入灯（RELs）亮起时，要在跑道等待位置停下并保持停止状态。
- 跑道进入灯（RELs）灯光熄灭时，没有塔台管制许可不能前进。
- 如果塔台管制许可和灯光冲突，不能穿越红灯；此时应联系塔台管制，通知由于红灯亮起，已经停下。
- 如果车辆正在进入跑道（已经越过跑道等待标志），此时跑道进入灯（RELs）亮起，车辆必须立刻撤离跑道，并通知塔台管制。

5.3.2 起飞等待灯（THLs）运行规则

- 飞行员准备起飞或已经开始起飞程序时，若有飞机或车辆在跑道上或进入、穿越跑道，会看到起飞等待灯（THLs）亮起。当跑道是空闲的，起飞等待灯（THLs）会熄灭。根据穿越飞机或车辆的数量，飞行员会看到相同周期数的起飞等待灯（THLs）亮起和熄灭。
- 当飞行员观察到起飞等待灯（THLs）亮起时，飞行员应当安全停下或保持停止状态。
- 如果塔台管制许可和灯光冲突，飞行员需要联系塔台管制解决。
- 如果飞行员注意到起飞等待灯（THLs）亮起时，飞机正在起飞或者由于安全原因不能停下飞机，机组应认识到亮

起的起飞等待灯（THLs）表明继续起飞不安全，并根据自己的最佳判断进行下一步动作，同时尽快和塔台管制联系。

需要特别注意的是：跑道进入灯（RELs）和起飞等待灯（THLs）熄灭时，没有塔台管制许可不能前进。跑道状态灯可以用来核实塔台管制的许可，但不能代替塔台管制许可；任何穿越、滑行、起飞和降落必须要得到塔台管制许可。

当跑道状态灯系统运行时，飞行员要保持应答机开启，确保与场监融汇系统的交互，以便向跑道状态灯系统提供位置信息。跑道状态灯的亮度等级设置应确保最大的醒目程度，跑道进入灯（RELs）和起飞等待灯（THLs）亮度可单独设置。当跑道状态灯因自身故障或其它原因影响到空中交通的有效运行或者导致不安全的运行时，可以被禁用，跑道进入灯（RELs）和起飞等待灯（THLs）可单独被禁用。

6 跑道状态灯在美国的实施情况

6.1 跑道状态灯在美国的发展历程

跑道状态灯的开发测试工作由 FAA 主导，并获得麻省理工学院林肯实验室和 ARCON 公司的支持，共分 2 个阶段进行。第一阶段，FAA 首先在全美选择 4 个试点机场，即波士顿（BOS）、达拉斯沃斯堡（DFW）、洛杉矶（LAX）和圣何塞（SAN），进行跑道状态灯（RWSL）原型的测试和评估工作，第二阶段，FAA 在原型测试和评估工作的基础上扩大跑道状态灯

(RWSL) 的应用范围。

该系统标准由美国 FAA 制定，系统实施之初，FAA 联合了 Saab Sensis 公司 (ASDE-X 系统商)、ADB Safegate 集团 (RWSL 系统商) 及 HNTB 集团 (设计及工程咨询方) 做了大量的讨论和试运行。如今，成熟的跑道状态灯系统已在美国及其他国家地区有了广泛的应用。

注：ASDE-X 技术，即机场地面探测系统-X 型，是一种跑道安全工具，可确定出机场场面上的飞机、配备有应答机的车辆以及附近的飞机。

从 2005—2009 年 FAA 先后选择达拉斯沃斯堡 (DFW)、圣何塞 (SAN)、洛杉矶 (LAX) 和波士顿 (BOS) 作为试点机场安装跑道状态灯原型并进行测试，具体信息如表 6—1。

表 6—1 跑道状态灯原型在试点机场的测试信息

机场名称	跑道进入灯 (RELS)	起飞等待灯 (THLs)	跑道交叉口灯 (RILs)	最后进近跑道占用指示灯 (FAROS)
达拉斯沃斯堡 DFW	√, 44 处	√, 10 处	○	√, 8 处
圣何塞 SAN	√, 7 处	○	○	○
洛杉矶 LAX	√, 26 处	√, 2 处	○	○
波士顿 BOS	√, 5 处	√, 2 处	√, 2 处	√, 8 处

注：√表示安装，○表示未安装

6.1.1 达拉斯沃斯堡 (DFW) 机场的实施情况

FAA 选择达拉斯/沃斯堡机场 (DFW) 作为第一个测试跑道

状态灯（RWSL）系统的机场。2005年跑道进入灯（RELS）首先被安装在西侧18L/36R跑道附近选定的滑行道上，然后在18L/36R跑道上安装了起飞等待灯（THLs）。2008年在东侧的17R/35L和17C/35C跑道及其滑行道上选定的位置安装了跑道进入灯（RELS）和起飞等待灯（THLs）。

表 6—2 达拉斯沃斯堡的跑道状态灯安装位置

跑道编号	跑道进入灯（RELS）位置	起飞等待灯（THLs）位置	安装日期
18L/36R	西侧：滑行道 Y、Z、WJ、WK、G8、WL、WM、和 A	跑道 18L 入口前 267 米处延伸 305 米。Y 滑与 18L 交叉口前 267 米处延伸 305 米。	2005 年
	东侧：滑行道 Y、Z、B 和 A	跑道 36R 入口前 267 米处延伸 305 米。A 滑与 36R 交叉口前 267 米处延伸 305 米。	2005 年
17R/35L	西侧：滑行道 Y、Z、EJ、EK、EL、EM、B 和 A	跑道 17R 入口前 114 米处延伸 457 米。Y 滑与 17R 交叉口前 114 米处延伸 457 米。	2008 年
	东侧：滑行道 Y、Z、EJ、EK、K8、EL、EM、B、A 和 ER	跑道 35L 入口前 114 米处延伸 457 米。A 滑与 35L 交叉口前 114 米处延伸 457 米。	
17C/35C	西侧：滑行道 Y、Z、EJ、EL、B 和 A	Y 滑与 17C 交叉口前 114 米处延伸 457 米。	2008 年
	东侧：滑行道 Y、Z、EJ、EL、B、A 和 ER	A 滑与 35C 交叉口前 114 米处延伸 457 米。	2008 年

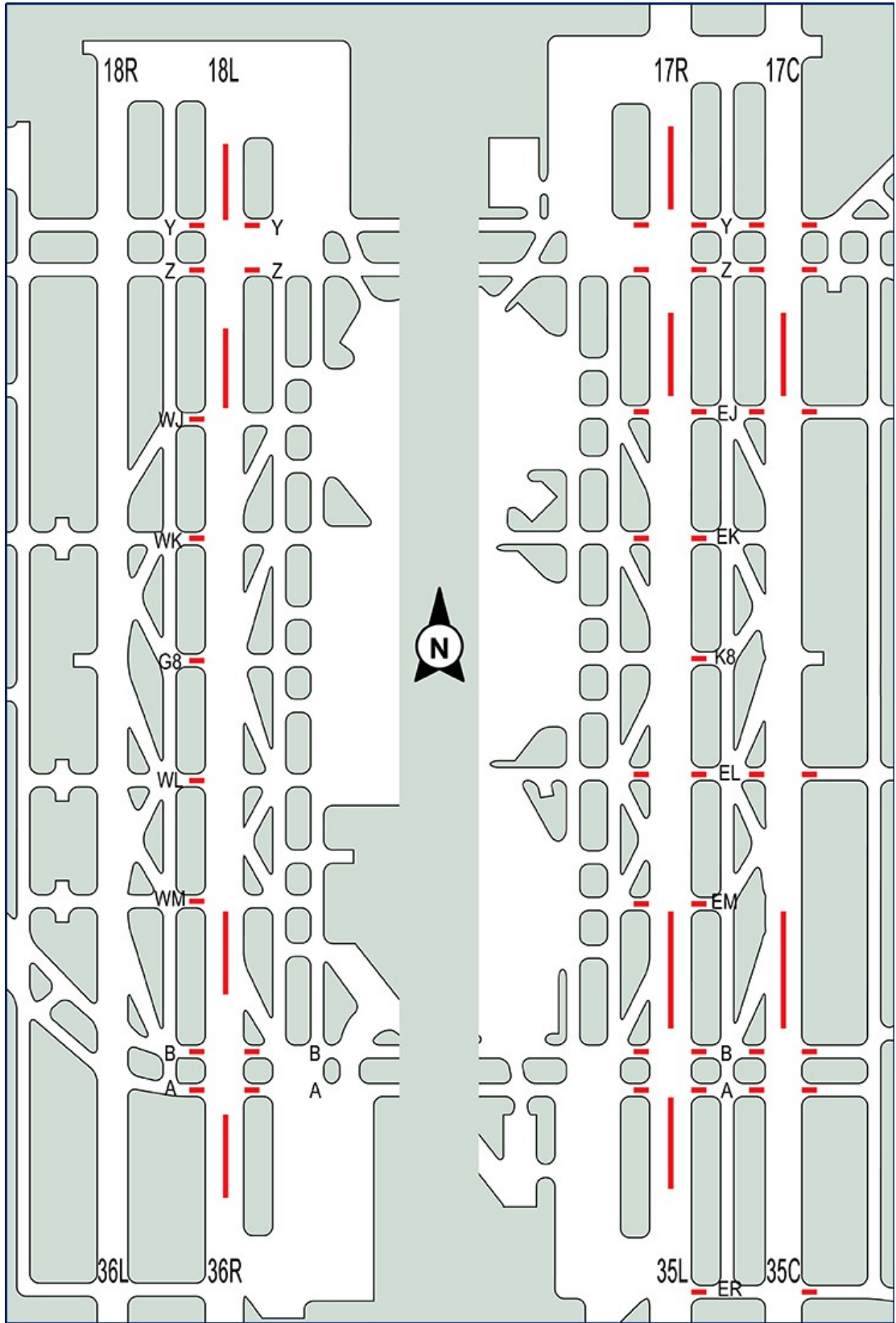


图 6—1 斯沃斯堡 (DFW) 的跑道状态灯安装平面图

6.1.2 圣何塞 (SAN) 机场的实施情况

FAA 选择圣何塞 (SAN) 机场作为第二个测试跑道状态灯系统的机场。2006 年，在跑道 09/27 选定的滑行道上安装跑道进入灯 (RELs)。

表 6—3 圣何塞 (SAN) 机场的跑道状态灯安装位置

跑道	跑道进入灯 (RELs) 位置	安装日期
09/27	北侧：滑行道 C1、C2 和 C6。	2006 年
	南侧：滑行道 B1、B6 和 B10。	2006 年

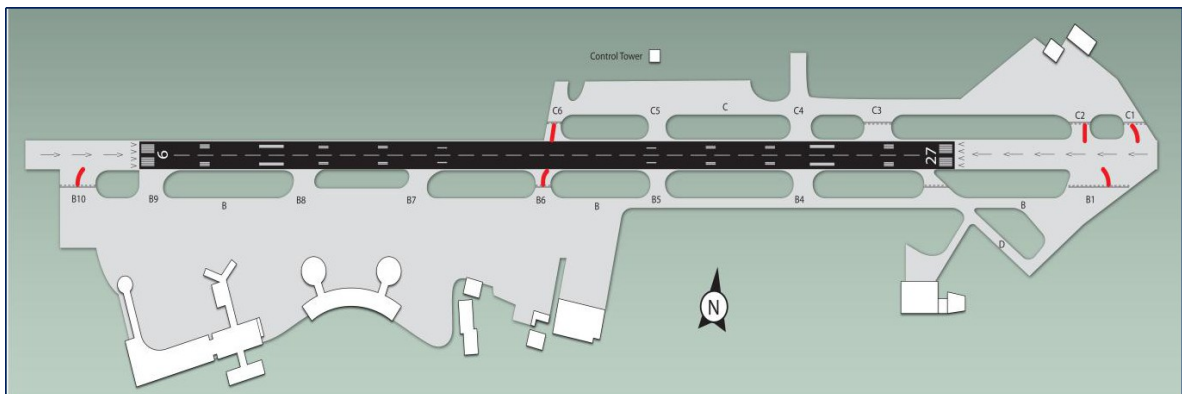


图 6—2 圣何塞 (SAN) 机场的跑道状态灯安装平面图

6.1.3 洛杉矶 (LAX) 机场的实施情况

洛杉矶 (LAX) 机场是全美第三个测试跑道状态灯系统的机场。在 2009 年跑道进入灯 (RELs) 安装在北飞行区 6R/24L 跑道和南飞行区 7R/25L 和 7L/25R 跑道的相关滑行道；在 6R/24L 跑道上安装起飞等待灯 (THLs)。

表 6—4 洛杉矶（LAX）机场的跑道状态灯安装位置

跑道	跑道进入灯（RELS）位置	起飞等待灯（THLs）位置	安装日期
6R/24L	北侧：快速脱离道 Y、Z 和 AA	跑道 24L 入口前 107 米处延伸 457 米 跑道 24L 与 E8 滑行道交叉口处延伸 457 米	2009 年
	南侧：滑行道 V 和 E8		
7R/25L	北侧：滑行道 F、G 和 U	暂未安装	
	南侧：滑行道 F 和 G。		
7L/25R	北侧：滑行道 F、G 和 U	暂未安装	
	南侧：滑行道 F、G 和 U		

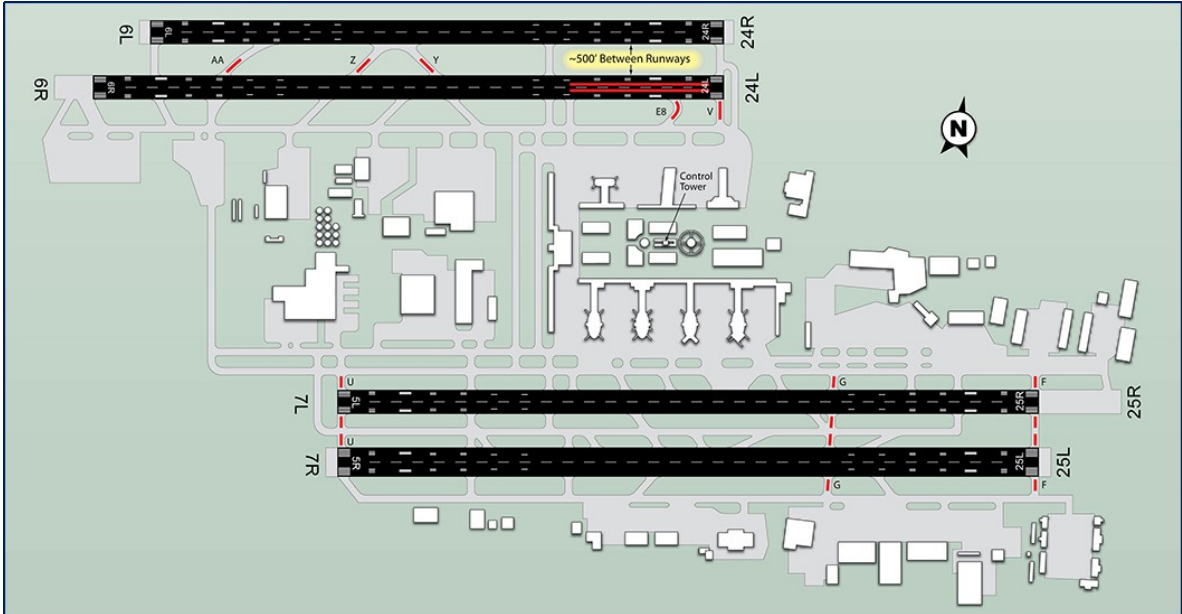


图 6—3 洛杉矶（LAX）机场的跑道状态灯安装平面图

6.1.4 波士顿（BOS）机场的实施情况

波士顿（BOS）机场是全美第四个测试跑道状态灯系统原型

的机场，且是第一个测试新的跑道交叉口灯（RILs）与起飞等待灯（THLs）交叉跑道逻辑的机场，两种灯光都是用来防止两条交叉跑道 09 和 15R 的跑道侵入和事故。波士顿机场这两条跑道上起飞等待灯（THLs），同时也会使用已经在达拉斯沃斯堡（DFW）与洛杉矶（LAX）通过测试的传统逻辑进行运作，以防止在已占用跑道上起飞。波士顿（BOS）机场也在选定的滑行道上测试跑道进入灯（RELs）。

表 6—5 波士顿（BOS）机场的跑道状态灯安装位置

跑道	跑道进入灯（RELs）位置	起飞等待灯（THLs）位置	跑道交叉口灯（RILs）位置
09/27	跑道北侧的滑行道 C	跑道 09 入口前 114 米处向前延伸 457 米	始于 09 跑道上的交叉口（09 跑道与 15R 跑道相交）的跑道等待位置，向 09 跑道的入口方向延伸 914 米。
15R/33L	跑道西侧的滑行道 D	跑道 15R 入口前 114 米处向前延伸 457 米	始于 15R 跑道上的交叉口（09 跑道与 15R 跑道相交）的跑道等待位置，向 15R 跑道的入口方向延伸 914 米。
4L/22R	跑道两侧的滑行道 E 和 K	暂未安装	暂未安装。
4R/22L	跑道东侧的滑行道 E	暂未安装	暂未安装



图 6—4 波士顿（BOS）机场的跑道状态灯安装平面图

6.2 跑道状态灯系统在全美繁忙机场的推广

跑道状态灯原型系统在四个试点机场实验后，FAA 计划至 2017 年在全美最繁忙的 17 个机场安装跑道状态灯系统。截至到 2019 年，已经在 20 个机场完成跑道状态灯系统的安装。

表 6—6 美国机场投运跑道状态灯时间

序号	跑道状态灯投入运营的机场	投入运营日期
1	Orlando 奥兰多机场 MCO	08/19/2013
2	Washington Dulles 华盛顿杜勒斯机场 IAD	07/21/2014
3	Phoenix 凤凰城机场 PHX	03/11/2014
4	Houston 休斯敦机场 IAH	04/09/2014
5	Seattle 西雅图机场 SEA	08/21/2014
6	Charlotte 夏洛特国际机场 CLT	03/25/2015
7	Las Vegas 拉斯维加斯国际机场 LAS	10/17/2014
8	Ft. Lauderdale 劳德代尔堡—好莱坞国际机场 FLL	05/07/2015
9	New York LaGuardia 纽约·拉瓜迪亚机场 LGA	07/22/2015
10	Minneapolis 明尼阿波利斯国际机场 MSP	08/13/2015
11	Los Angeles 洛杉矶国际机场 LAX	10/28/2015
12	New York Newark 纽瓦克国际机 EWR	04/12/2016
13	Detroit 底特律 DTW	04/20/2016
14	New York JFK 纽约肯尼迪国际机场 JFK	06/08/2016
15	Chicago 芝加哥国际机场 ORD	2017
16	San Francisco 旧金山国际机场 SFO	2017
17	Baltimore Washington 巴尔的摩国际机场 BWI	2017
18	Boston 波士顿国际机场 BOS	2018
19	San Diego 圣迭哥国际机场 SAN	2018
20	Dallas 达拉斯国际机场 DFW	2018

6.3 美国安装跑道状态灯系统实例

根据美国安装跑道状态灯系统机场的跑滑构型，将应用实例

分为四大类，即：

- 1) 单跑道构型；
- 2) 双平行跑道构型；
- 3) 平行构型的复杂多跑道构型；
- 4) 含交叉跑道构型的复杂多跑道构型。

6.3.1 单跑道应用实例

对于一条跑道，为了对其双向和双侧运行进行保护，可在进入跑道的滑行道上安装跑道进入灯，在跑道的两个入口处安装起飞等待灯，例如，劳德代尔堡—好莱坞国际机场（FLL）的10L—28R跑道。

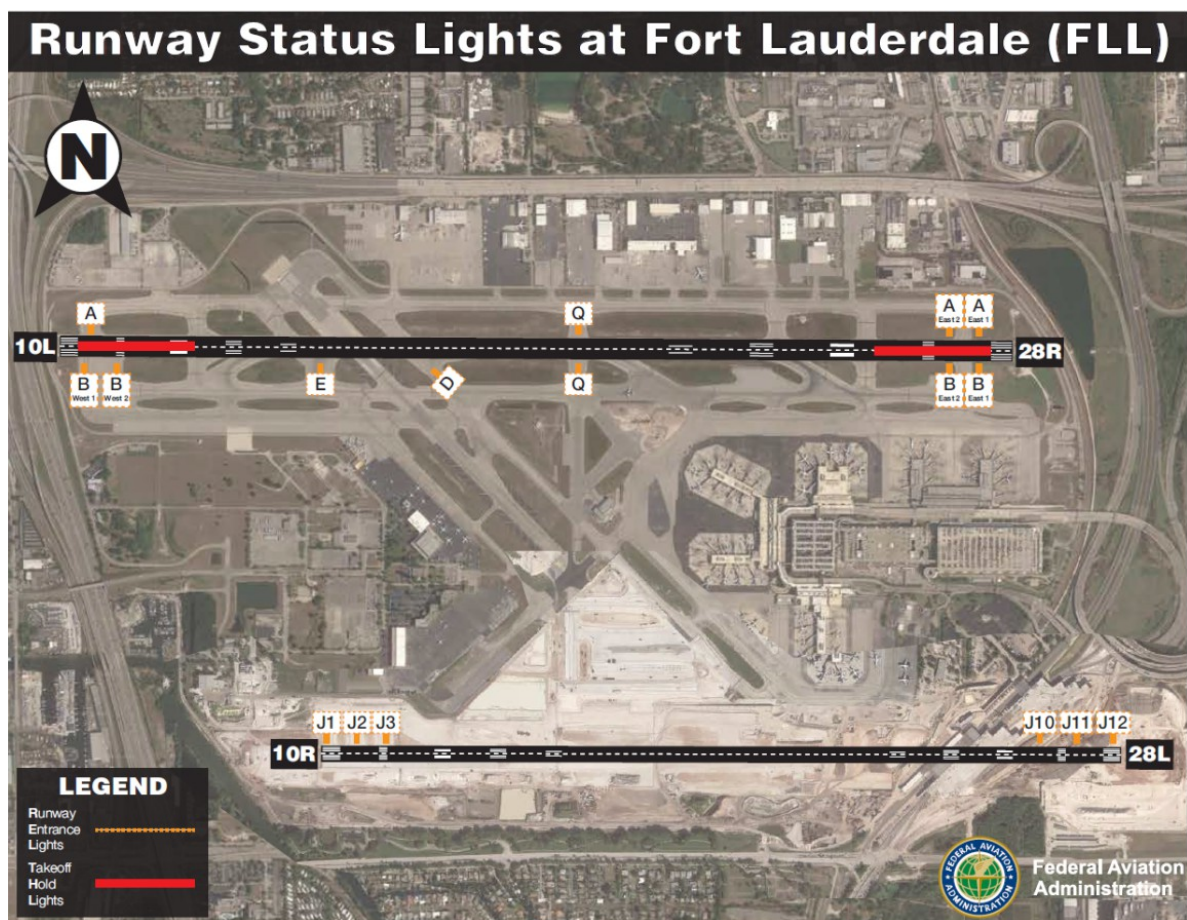


图 6—5 劳德代尔堡—好莱坞国际机场的跑道状态灯安装平面图

6.3.2 双平行跑道应用实例

双跑道为一组近距跑道，其中内侧跑道多为起飞用，外侧跑道多为降落用。为了提升运行保障能力，当由于天气情况等原因关闭外侧跑道时，内侧跑道可以单独提供起飞和着陆功能。在凤凰城机场（PHX）南侧的 7L-25R 和 7R-25L 跑道，所有进入跑道的入口处，均设置了跑道进入灯；多用于起飞的 7L-25R 跑道的两端均设置有起飞等待灯。类似的还有达拉斯国际机场（DFW）、洛杉矶国际机场（LAX）、芝加哥国际机场（ORD）和底特律机场（DTW）。

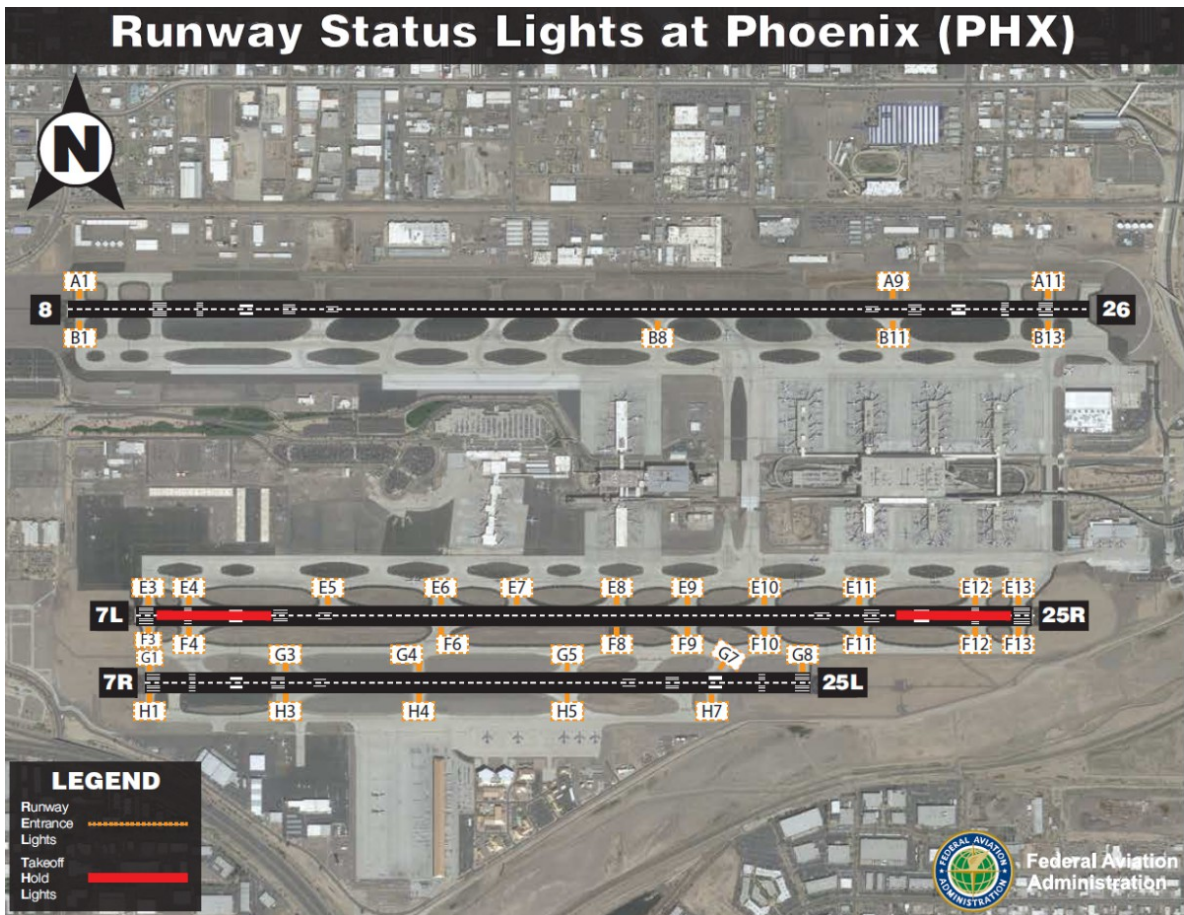


图 6—6 凤凰城机场的跑道状态灯安装平面图

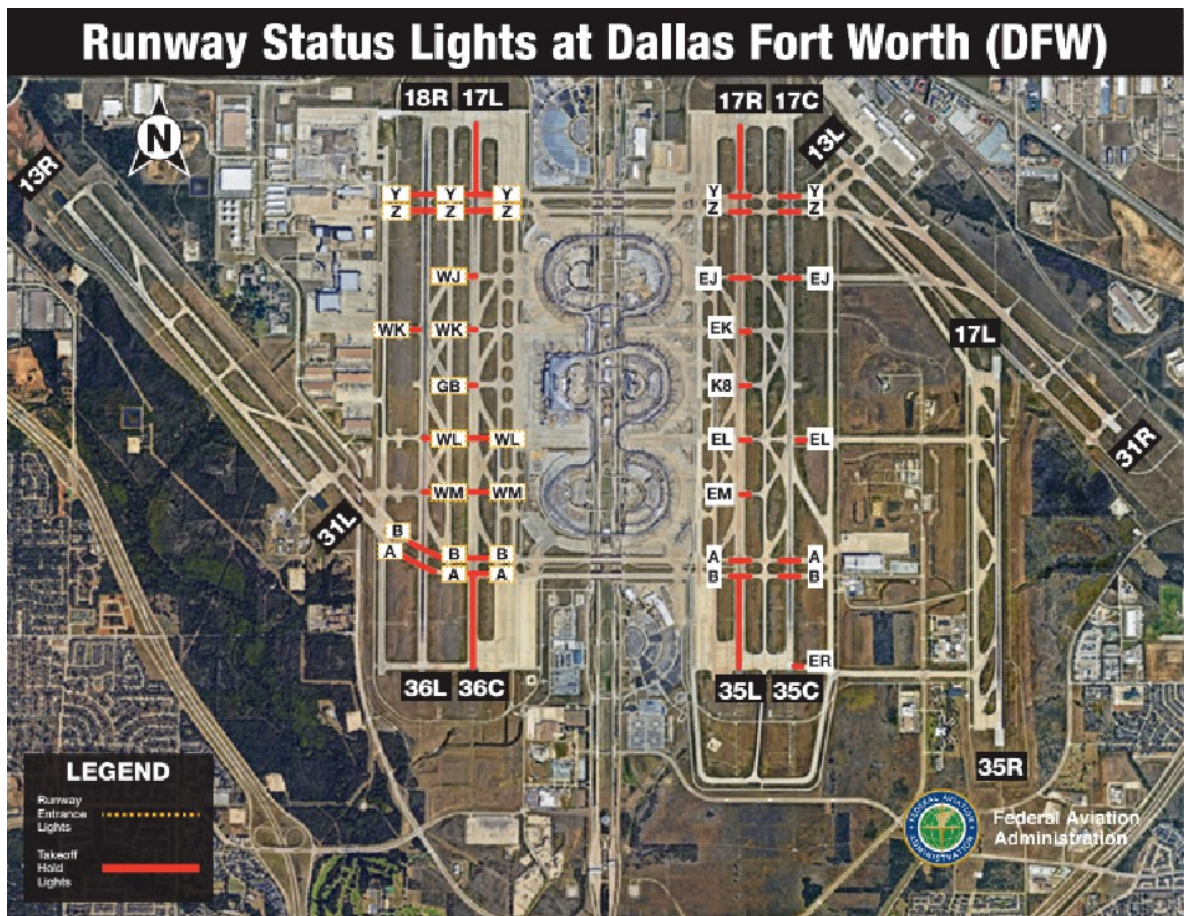


图 6—7 达拉斯国际机场的跑道状态灯安装平面图



图 6—8 洛杉矶国际机场的跑道状态灯安装平面图



图 6—9 芝加哥国际机场的跑道状态灯安装平面图

6.3.3 平行构型的复杂多跑道应用实例

华盛顿杜勒斯机场 (IAD) 拥有 3 条独立运行的平行跑道，外加 1 条靠外侧的交叉跑道，如图 6—10。中心跑道 19C—1C 用于起飞离场，所以该跑道的两侧和两端均配备了跑道入口灯和起飞等待灯。2 条外侧平行跑道在进入跑道的滑行道上设置了跑道进入灯。交叉跑道没有设置跑道状态灯，如图 6—10。类似的有夏洛特国际机场 (CLT)，如图 6—11。

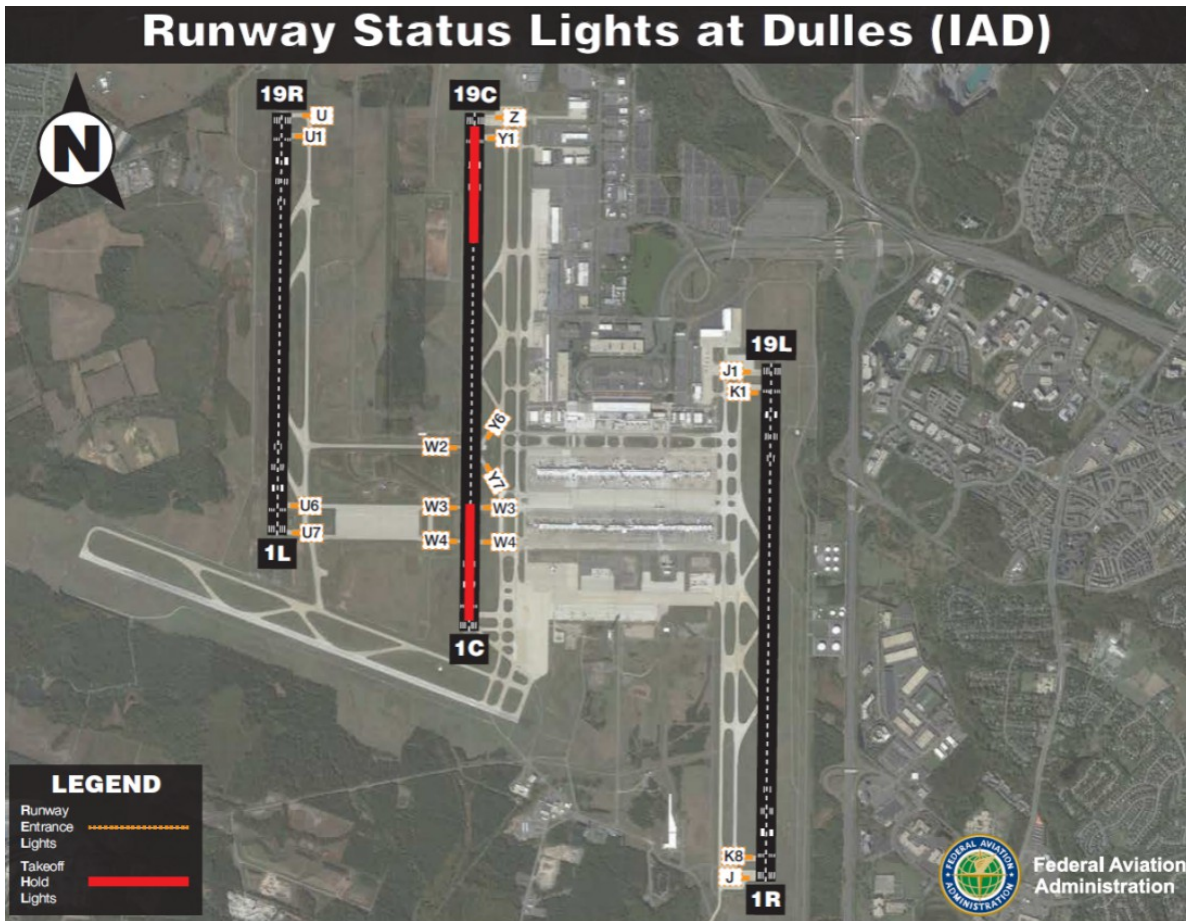


图 6—10 华盛顿杜勒斯机场的跑道状态灯安装平面图

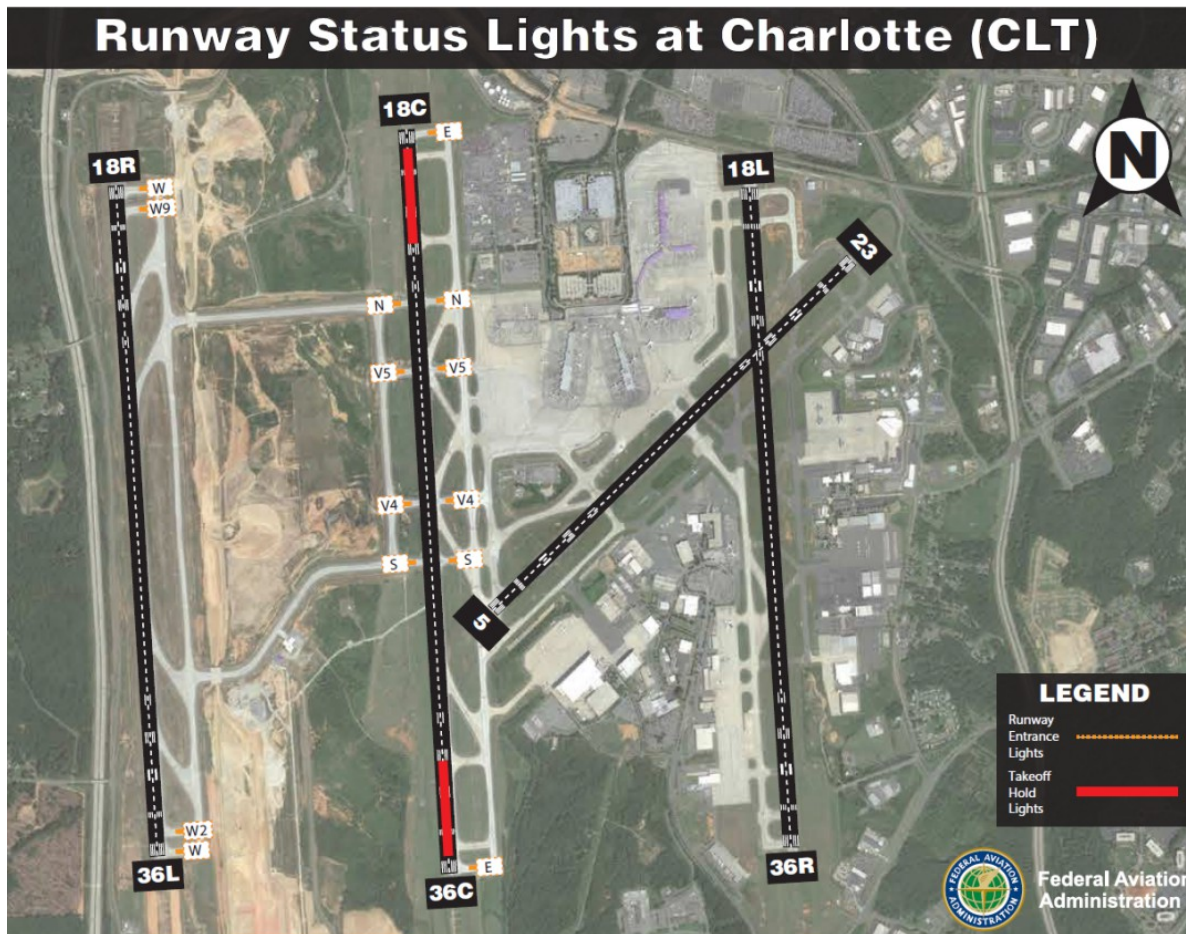


图 6—11 夏洛特国际机场的跑道状态灯安装平面图

以此为基础，还有多种平行跑道的衍生模式，例如奥兰多机场（MCO），如图 6—12，三组跑道为远距跑道，其中一组跑道为 2 条跑道组成的近距跑道。中间跑道 17R—35L 双向起飞运行，所以两端起飞区域设置了起飞等待灯。对于主要用于穿越跑道的滑行道道口 H1、K 和 F 设置跑道进入灯。另外一组近距跑道 18R—36L 和 18L—36R，内侧跑道 18L—36R 用于起飞用，所以两端设置起飞等待灯，两侧入口处设置跑道进入灯。外侧跑道 36L 处设置有起飞等待灯，由于跑道 18R—36L 西侧布置有停机区域，所以其穿越跑道的滑行道入口处设置跑道进入灯。

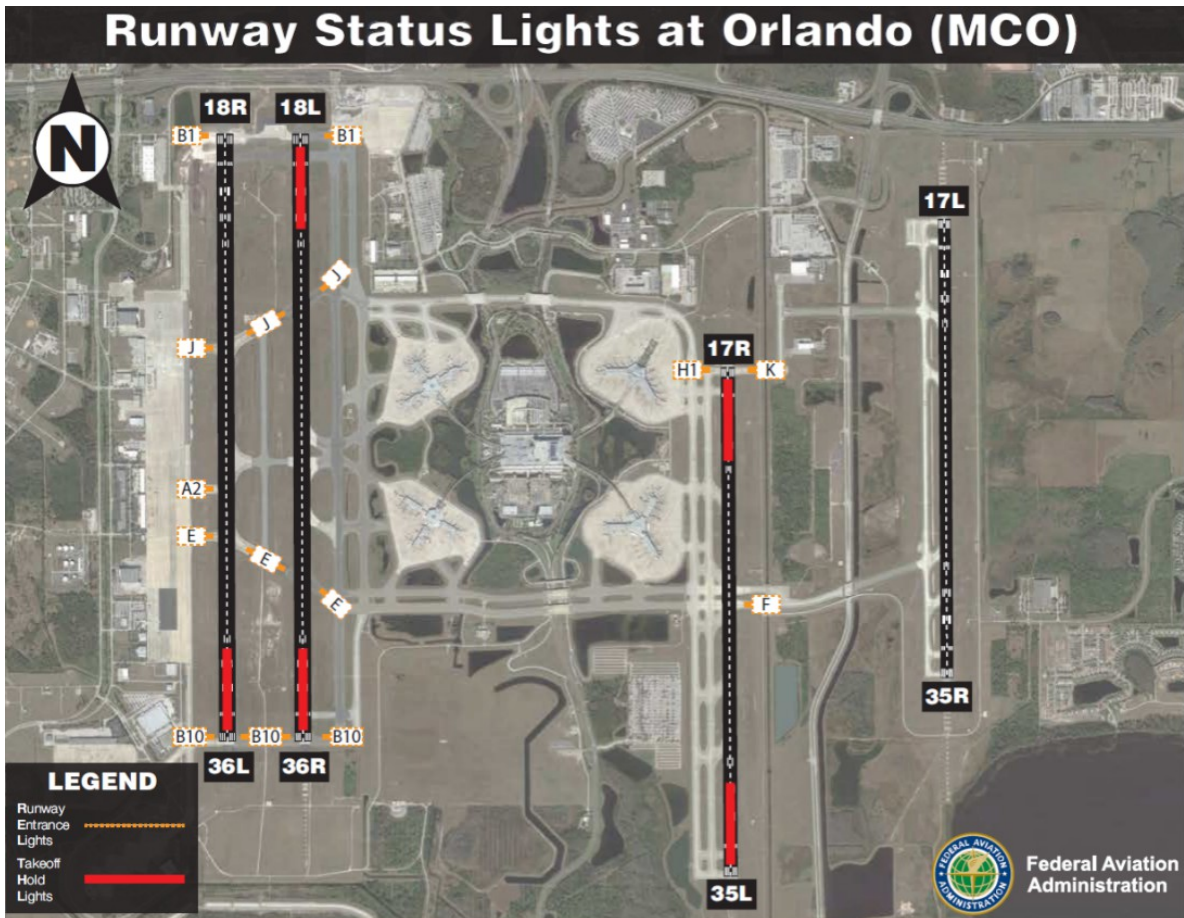


图 6-12 奥兰多机场的跑道状态灯安装平面图

6.3.4 交叉跑道构型的复杂多跑道应用实例

对于主要使用交叉跑道的繁忙机场，一般设置有起飞等待灯。对于跑道进入灯的设置位置主要跟运行模式有关，也并非所有入口设置有跑道进入灯。

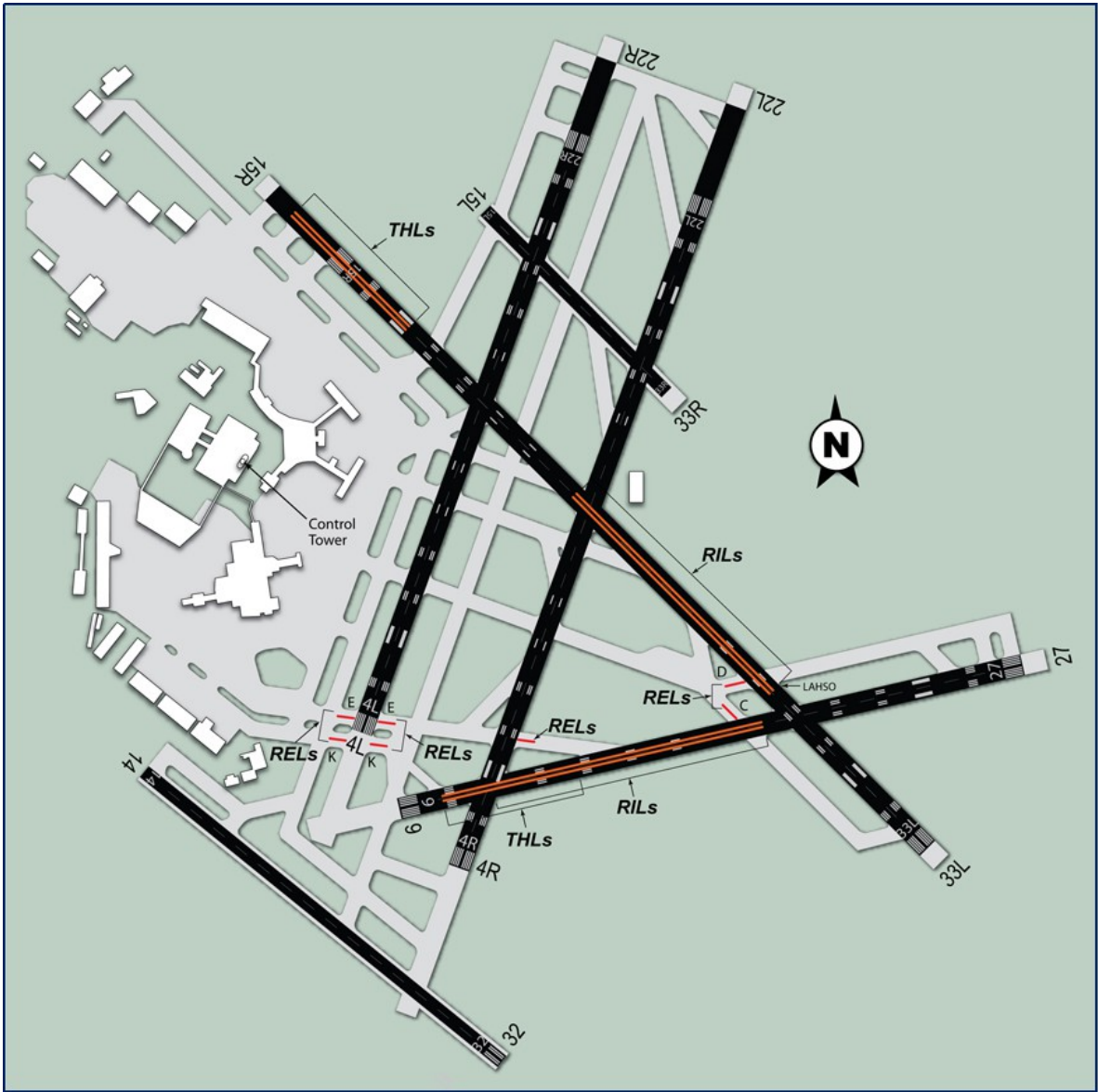


图 6—13 波士顿 (BOS) 机场的跑道状态灯安装平面图

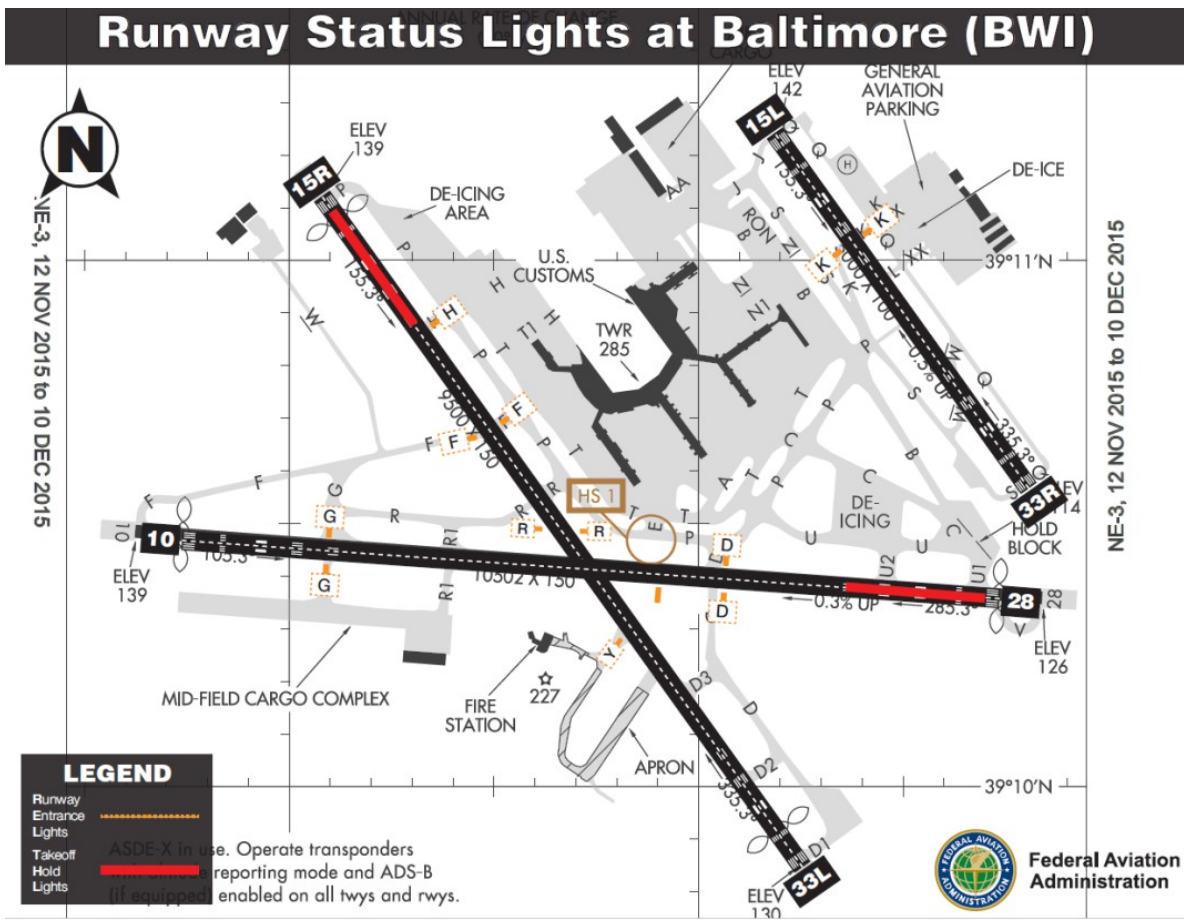


图 6—14 巴尔的摩国际机场的跑道状态灯安装平面图



图 6—15 拉斯维加斯国际机场的跑道状态灯安装平面图



图 6—16 纽约—拉瓜迪亚机场的跑道状态灯安装平面图



图 6—17 旧金山国际机场的跑道状态灯安装平面图

6.4 跑道状态灯在美国的实施效果

6.4.1 测试机场前期对跑道状态灯的反馈

FAA 相继在达拉斯沃斯堡 (DFW)、圣何塞 (SAN)、洛杉矶 (LAX) 和波士顿 (BOS) 对飞行员、车辆驾驶员、塔台管制员等工作人员使用跑道状态灯系统的情况进行了反馈调查。2005 年 FAA 选择达拉斯沃斯堡 (DFW) 作为第一个测试跑道状态灯系统的机场，在 18L/36R 跑道上分别安装了跑道进入灯 (RELs) 和起飞等待灯 (THLs)。最初在达拉斯沃斯堡 (DFW) 的起飞等待灯 (THLs) 沿跑道中线纵向设置，并且为单灯 (并

非后来的双灯)。2006年2月至2006年8月，FAA对飞行员使用达拉斯沃斯堡（DFW）机场跑道状态灯系统的情况进行了在线调查，超过80名的飞行员在线进行了回复。

飞行员的反馈结果被分为4个关键因素进行分析，分别是：

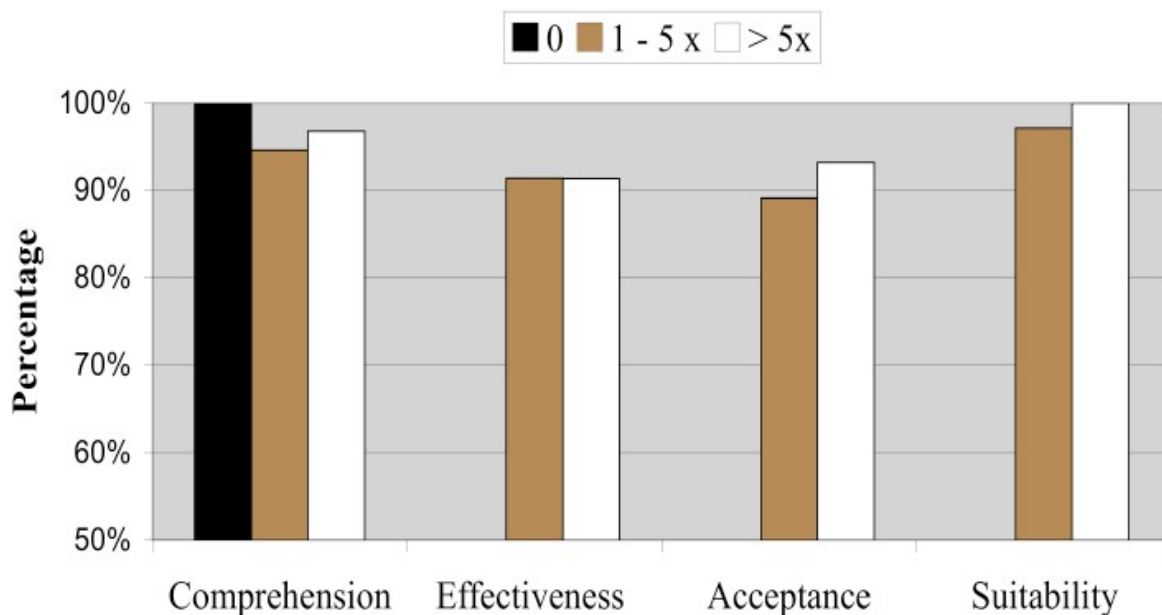
■可理解性 Comprehension——2项：是否理解不穿过亮起的跑道进入灯（RELs）或者起飞等待灯（THLs）、是否理解跑道进入灯（RELs）或者起飞等待灯（THLs）灯熄灭不代表塔台管制员指令。

■可接受性 Acceptance——3项：情景意识、安全效益、给予飞行员的支持。

■有效性 Effectiveness——4项：显著性、塔台管制员指令一致性、可靠性、区分性。

■适用性 Suitability——2项：工作负荷、注意力。

1) 若根据观察次数分类，调查结果如图6-18-1；



序号	观察次数	关键因素	飞行员占比
1	0 次	可理解性	100%
		有效性	0
		可接受性	0
		适用性	0
2	1—5 次	可理解性	95%
		有效性	92%
		可接受性	89%
		适用性	98%
3	5 次以上	可理解性	97%
		有效性	92%
		可接受性	94%
		适用性	100%

图 6—18—1 不同观察次数的飞行员调查结果

由此图可以看出，可理解性方面，没有观察过跑道状态灯的飞行员，仅在了解了系统原理后，100%的飞行员认为是可以理解的；观察次数 1—5 次和 5 次以上的飞行员中，分别有 95%和 97%的飞行员认为跑道状态灯是可以理解的。92%以上的飞行员认为跑道状态灯是有效的。观察次数超过 1—5 次和 5 次以上的飞行员中，分别有 98%和 100%的飞行员认为跑道状态灯不会他们的增加工作负荷和分散注意力。

2) 若根据飞行时间分类，调查结果为图 6—18—2；

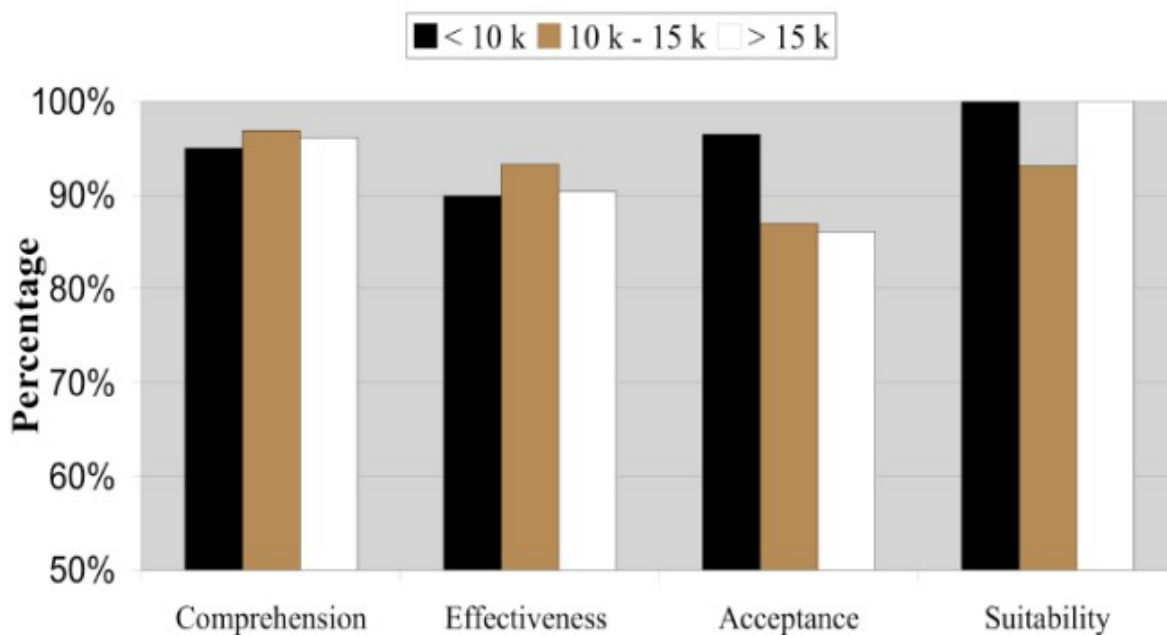


图 6—18—2 不同飞行小时的飞行员调查结果

3) 若根据航空公司分类, 调查结果为图 6—18—3;

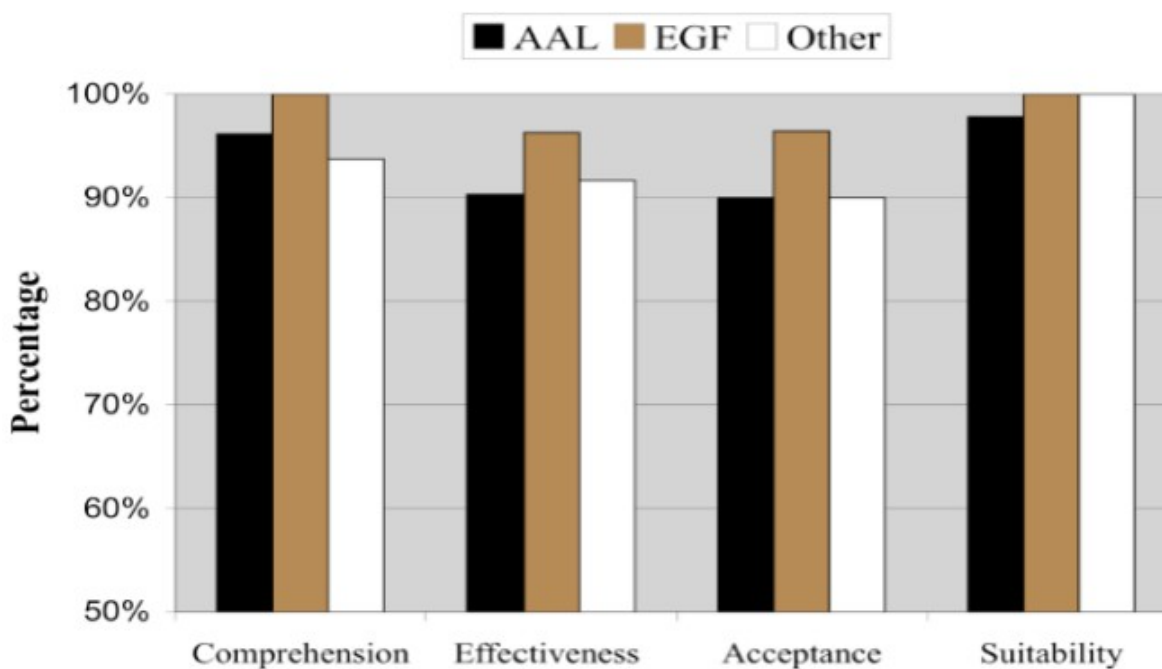


图 6—18—3 不同航空公司的飞行员调查结果

4) 若根据角色分类, 调查结果为图 6—18—4。

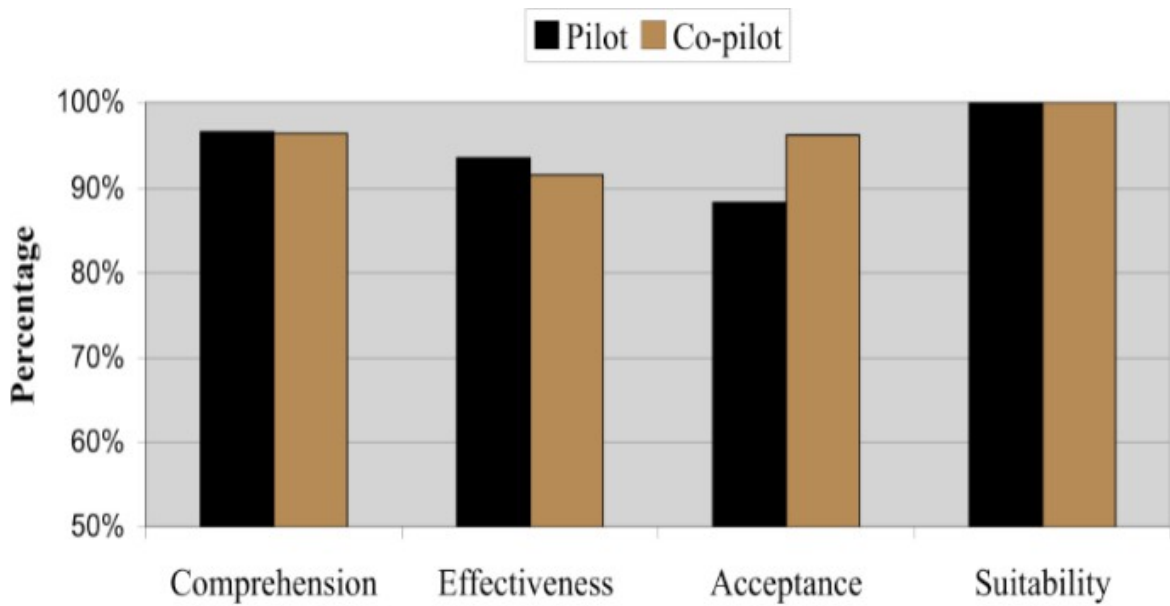


图 6—18—4 不同角色的飞行员调查结果

在前期的测试中，起飞等待灯（THLs）是沿着跑道中线纵向设置的，为 11 排单灯，飞行员认为其并不十分显著；此外，当起飞等待灯（THLs）发红光时，容易和末端的跑道中线灯混淆。于是 FAA 一方面将单灯改为双灯，并沿着跑道中线两侧纵向设置，另一方面将 11 排延长至 16 排，每排之间距离 100 英尺（30 米），因此起飞等待灯（THLs）共计 1500 英尺长（450 米），距离跑道入口标志 375 英尺（115 米），如图 6—19。

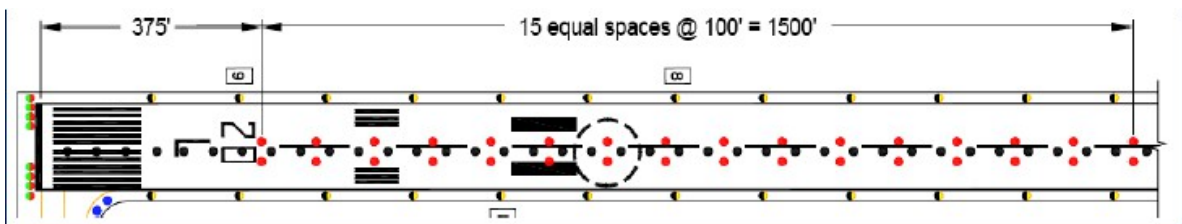


图 6—19 接收飞行员反馈意见后 THLs 的改进示意图

6.4.2 测试机场对跑道状态灯改进方案的反馈

随着跑道状态灯系统的改进和试点推广，FAA 主要对飞行

员和车辆驾驶员使用系统的情况进行了在线问卷调查，调查结果显示飞行员和车辆驾驶员对跑道状态灯系统整体上是认可的。

针对洛杉矶 LAX 机场跑道进入灯 (RELs) 和起飞等待灯 (THLs) 的调查结果如图 6-20-1。针对圣何塞 (SAN) 机场跑道进入灯 (RELs)、达拉斯沃斯堡 (DFW) 机场跑道进入灯 (RELs) 和起飞等待灯 (THLs) 的调查结果如图 6-20-2。

调查表明，测试机场对跑道状态灯改进方案的反馈良好。

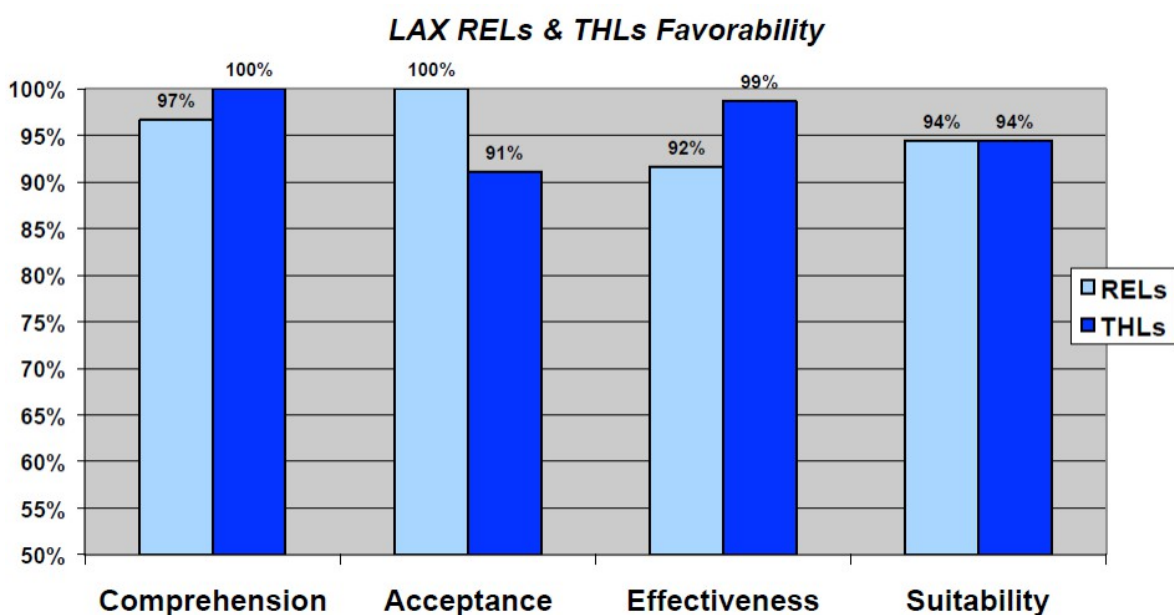


图 6-20-1 洛杉矶 (LAX) 机场的 RELs 和 THLs 反馈调查

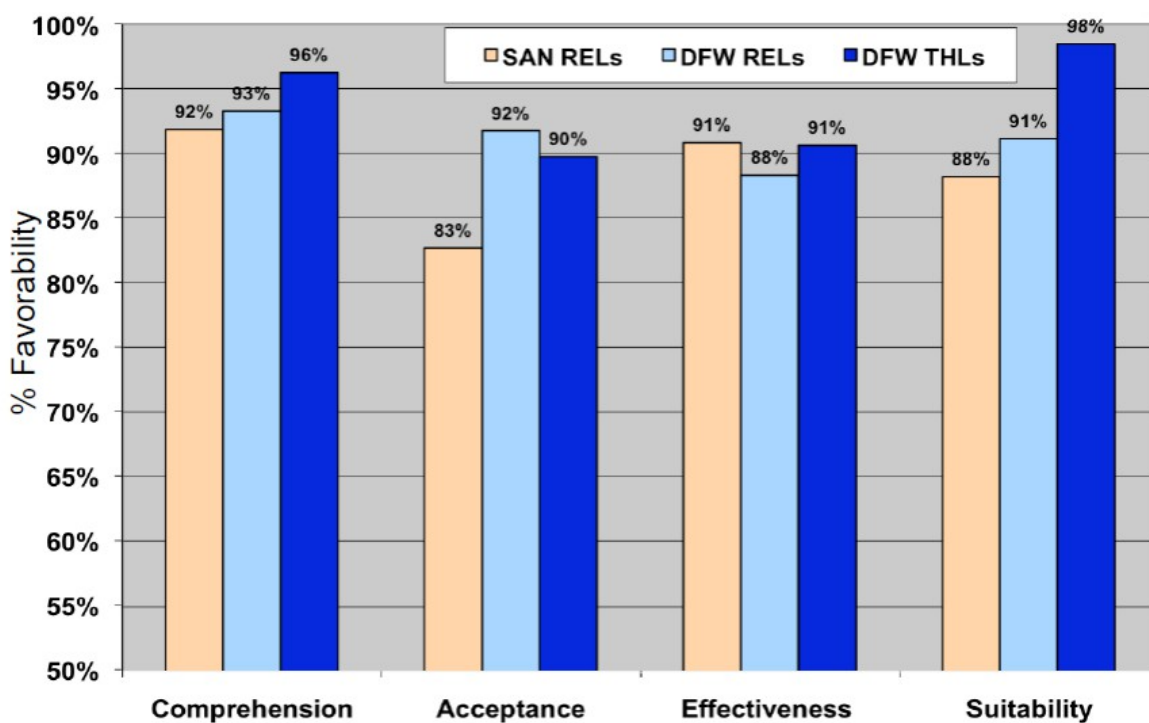


图 6—20—2 圣何塞 (SAN) 机场的 RELs 和达拉斯沃斯堡 (DFW) 的 RELs 和 THLs 调查

7 跑道状态灯在欧洲的典型案例

欧洲大多数机场都装设有停止排灯，且仅在 II/III 类天气条件下开放使用。由于停止排灯在防跑道侵入方面的局限性，为了进一步防止跑道侵入，欧洲的苏黎世机场和戴高乐机场分别于 2013 年和 2016 年实施了跑道状态灯系统。

与此同时，我国各大型机场普遍设计安装了停止排灯，但跑道状态灯的设计应用尚属空白。如何在我国广泛安装运行停止排灯的情况下，合理确定跑道状态灯的安装方案，有效发挥各自作用是非常重要的。法国戴高乐机场在原有设置停止排灯的基础上，又在 2016 年开始运行跑道状态灯系统，与我国的现状有很

大的相似之处，值得借鉴。

7.1 法国巴黎—戴高乐机场的介绍

巴黎夏尔—戴高乐机场（Paris Charles de Gaulle Airport）是位于法国首都巴黎市东北 25 公里处的一座民用机场，隶属于巴黎机场集团。戴高乐机场始建于 1966 年，于 1974 年 3 月 8 日正式启用，总面积 32.38 平方公里，海拔高度 119 米（392 英尺）。该机场拥有 1 号、2 号、3 号三座航站楼、四条跑道。

2019 年，戴高乐机场旅客吞吐量达 7615 万人次，同比增长 5.1%；飞机起降共 504836 架次，是欧洲五大机场中客运量增长速度最快的。2019 年，在客运量方面戴高乐机场是世界排名第九位，仅次于伦敦希思罗国际机场，是欧洲的第二大繁忙机场；在飞机起降次数方面，它也是欧洲的第二大繁忙机场。

表 7—1 2019 年世界旅客吞吐量前 10 名机场

序号	机场名称	旅客吞吐量（万人/次）
1	哈兹菲尔德—杰克逊亚特兰大国际机场	11053.1
2	北京首都国际机场	10001.3
3	洛杉矶国际机场	8806.8
4	迪拜国际机场	8639.7
5	东京国际机场	8550.51
6	芝加哥奥黑尔国际机场	8464.91
7	伦敦希思罗国际机场	8088.43
8	上海浦东国际机场	7615.34

9	巴黎戴高乐机场	7615
10	达拉斯—沃思堡国际机场	7506.7

戴高乐机场拥有两组平行跑道，运行中存在大量飞机穿越跑道的情况。跑道安全是机场面临的最大的挑战之一，任何一个错误指令或误解就可能造成跑道侵入。为了减少这一重大安全隐患，戴高乐机场积极寻找解决方案，并成为欧洲首座使用跑道状态灯系统的机场。

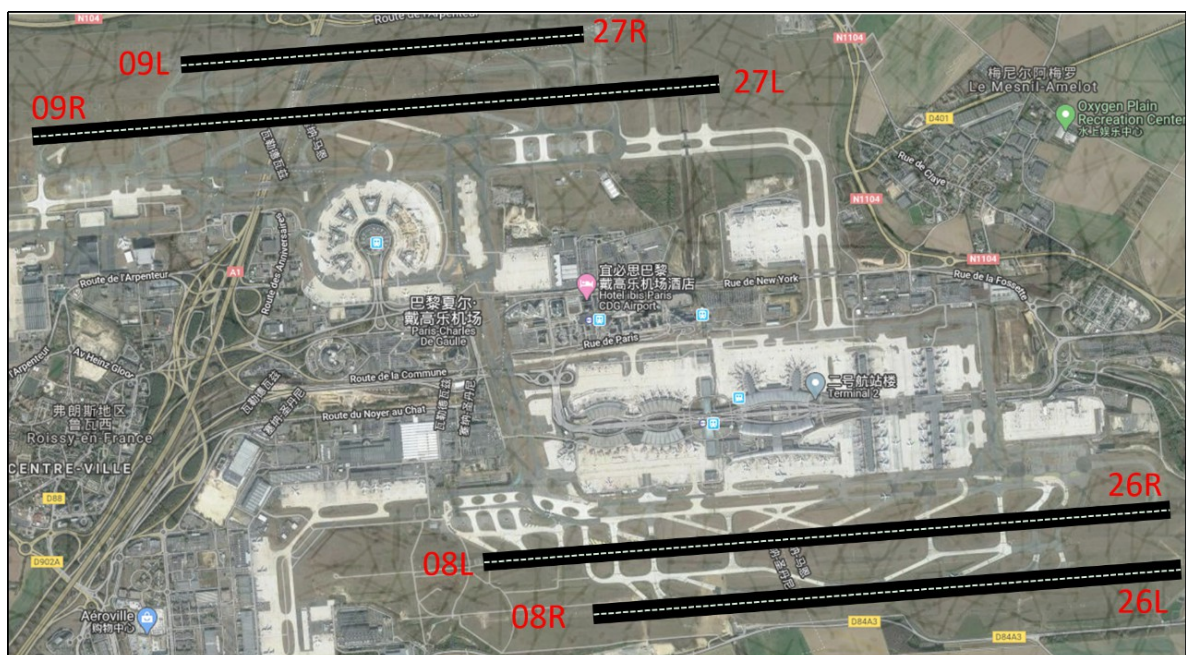


图 7—1 戴高乐机场总平面图

7.2 戴高乐机场跑道状态灯的发展历史

戴高乐机场设有两组近距跑道，即长宽分别为 2700 米×60 米的 08R/26L 混凝土跑道、4215 米×45 米的 08L/26R 沥青跑道、4200 米×45 米的 09R/27L 沥青跑道和 2700 米×60 米的 09L/27R 沥青跑道。其中，跑道 09L/27R 和跑道 08R/26L 主要

用作降落跑道；跑道 09R/27L 和跑道 08L/26R 主要用作起飞跑道。

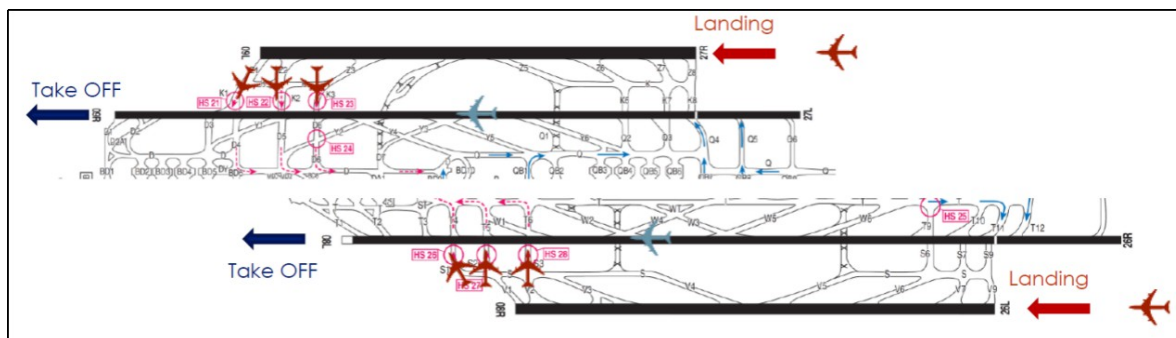


图 7-2 戴高乐机场跑道 I 类方向运行模式

据统计，戴高乐机场每天约有 700 架次的飞机在降落后需穿越内侧跑道，驶向航站楼区域。而在机场发生的所有跑道侵入事故中，约有近 50% 的比率是由飞行员失误所造成的。所以，机场认为有效协助塔台管制员和飞行员，以降低失误的几率是非常重要的。但碍于当时的通讯、自动控制和定位技术的落后，所以一直采用的是依靠塔台管制人员控制停止排灯的方式，以尽可能的减少跑道侵入事故的发生，但这对于塔台管制员来说，压力巨大，通行效率也大打折扣。

2008 年开始，随着地面定位技术精度的不断提高，通讯和控制技术的不断发展，戴高乐机场决定参照 FAA，率先引入跑道状态灯系统。

■ 2009 年 6 月，机场启动了跑道状态灯的改造项目；

■ 2010 年 6 月至 2012 年 6 月完成了南、北两侧跑道的改造工程；

■ 2012 年 6 月至 2016 年底，花费近 4 年的时间进行了系统

评估与测试；

■2016年6月，跑道09R/27L的跑道状态灯系统正式投入24小时运行；

■2017年3月，跑道08L/26R的跑道状态灯系统正式投入24小时运行。

7.3 戴高乐机场跑道状态灯系统的应用情况

7.3.1 戴高乐机场跑道状态灯的设置情况

FAA定义的跑道状态灯系统是由四种灯光系统组成，分别为跑道进入灯、起飞等待灯、跑道交叉口灯和最后进近跑道占用指示灯。戴高乐机场评估后，建设了只有跑道进入灯和起飞等待灯的跑道状态灯系统。附件14第八版中关于跑道状态灯的条文也仅包括跑道进入灯和起飞等待灯，显然戴高乐机场的评估结果与ICAO的标准不谋而合。

所以，戴高乐机场在需要被穿越的两条内侧跑道，即跑道09R/27L和跑道08L/26R及相关滑行道上，分别设置了跑道进入灯和起飞等待灯。

由图7-3可以看出，与内侧跑道相交的几乎所有的双向运行滑行道均安装了跑道进入灯；内侧跑道的两端设置有足够长的起飞等待灯。由于两条外侧跑道主要提供飞机降落，且没有穿越跑道的需求，所以外侧跑道并没有设置相关的跑道状态灯系统。图7-5为I类运行条件下，跑道09R/27L相关的跑道状态灯的开启情况（包括K4、K5，但K4、K5尚未开放）。

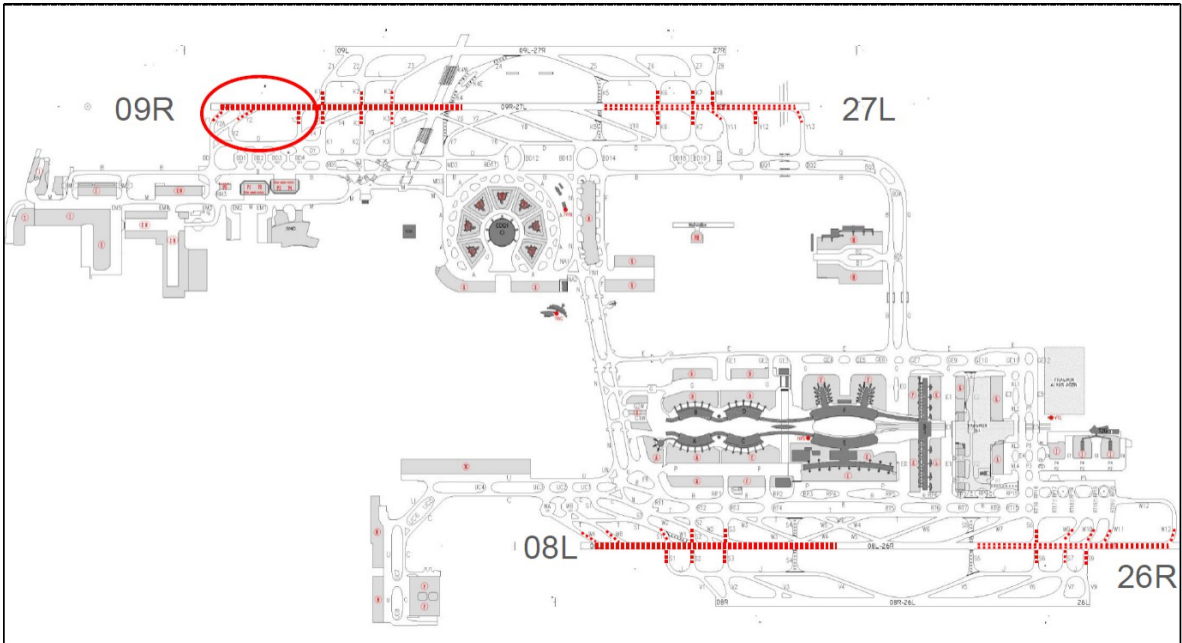


图 7-3 戴高乐机场跑道状态灯的安装情况

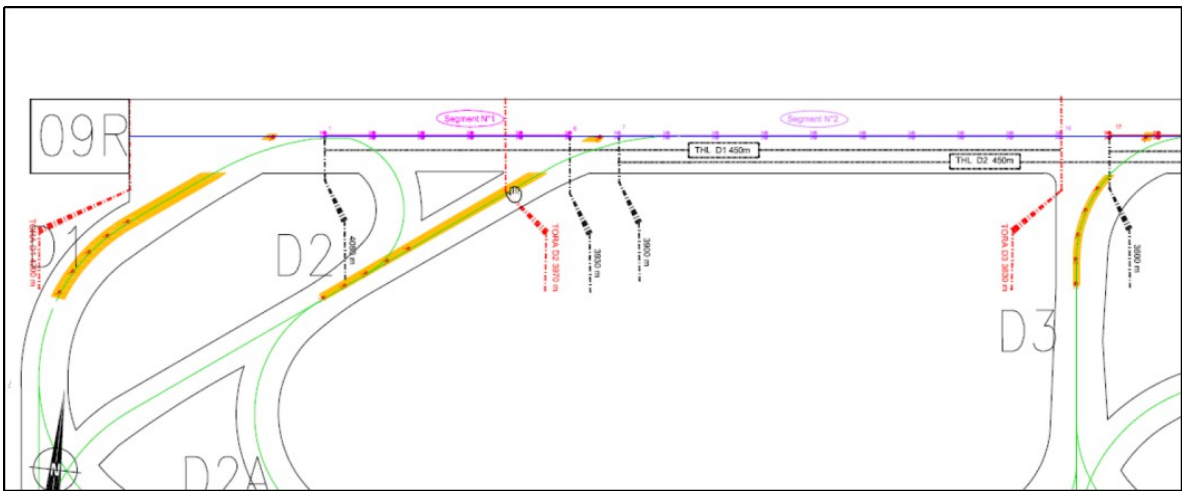


图 7-4 跑道 09R 侧相关跑道状态灯的安装情况

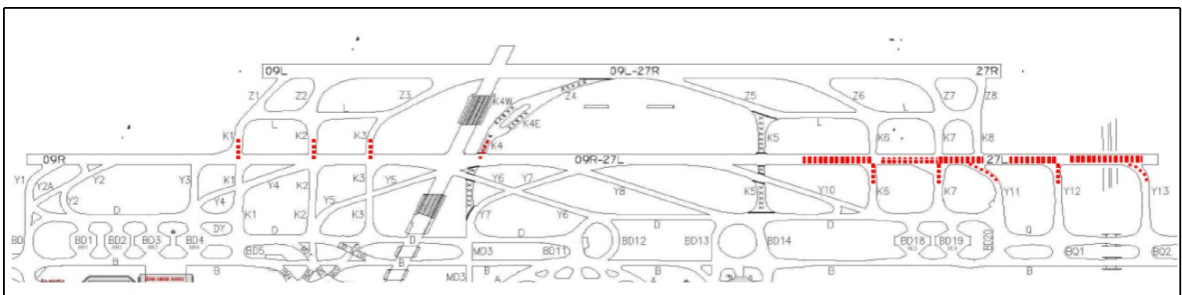


图 7-5 I 类运行情况下跑道状态灯的开启情况



图 7—6 白天起飞等待灯的显示情况



图 7—7 夜间起飞等待灯的显示情况



图 7—8 白天跑道进入灯的显示情况



图 7—9 夜间跑道进入灯的显示情况

7.3.2 跑道状态灯的供电与控制

戴高乐机场在跑道等待位置处均设有停止排灯，通过单灯监

控装置对停止排灯进行控制。但由于当时单灯监控装置技术的不成熟，无论是系统响应时间，还是误报率，戴高乐机场对停止排灯所采用的供电与控制技术都不太满意。同时，起飞等待灯设置在跑道上，其光强值要求较高，一般为 1500cd，但当时的单灯监控技术还未达到相应的控制水平。所以，在跑道状态灯系统设计阶段，起飞等待灯和跑道进入灯则采取了不同的供电和控制方式。

(1) 起飞等待灯的供电与控制

由于需要保证飞机无论从哪条滑行道上跑道，其前方均有约 450 米长的起飞等待灯带，所以跑道每端的起飞等待灯的数量较多。机场根据跑道与滑行道的构型，将每端起飞等待灯分成了若干个供电分区。

如图 7—10 所示，在跑道 09R 侧，从滑行道 D1 和 D2 进入跑道的飞机，供其使用的起飞等待灯可接入 3 个供电分区，每个分区由一台容量为 2.5kVA 的恒流调光器串联供电，可以实现独立的供电与控制。当飞机从 D1 进入跑道时，1 号段和 2 号段的起飞等待灯用以提供跑道的状态信息；当飞机从 D2 进入跑道时，2 号段和 3 号段的起飞等待灯可用以提供跑道的状态信息。

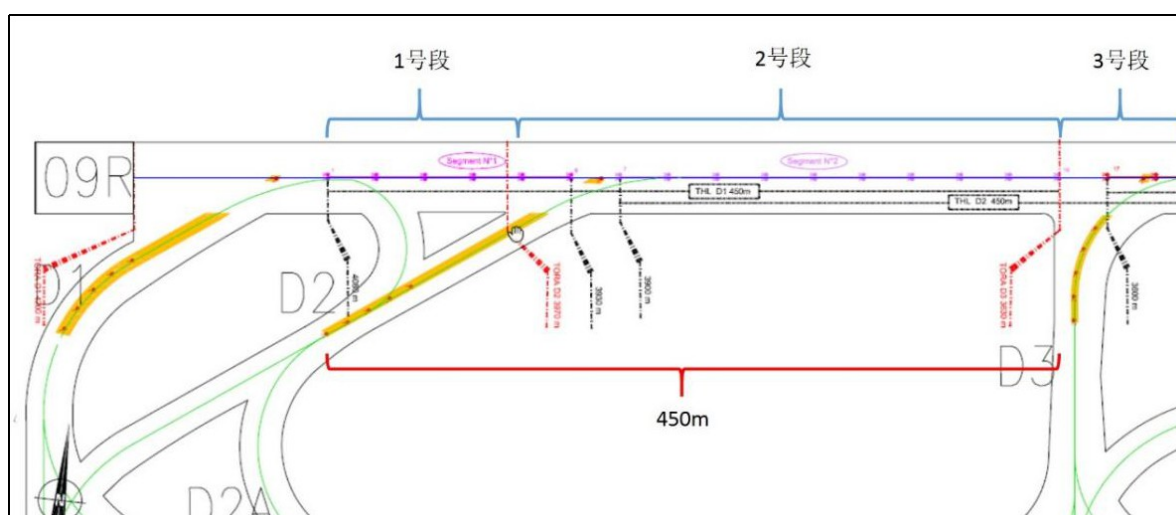


图 7—10 起飞等待灯的供电分区

与国内助航灯光供电回路设计相似，戴高乐机场的起飞等待灯供电回路相关设备有：恒流调光器（CCR）、隔离变压器、灯具、一次电缆、二次电缆等。由于没有采用单灯监控装置，所以通过强电控制对调光器进行操作，从而对灯光回路进行接通与断开。

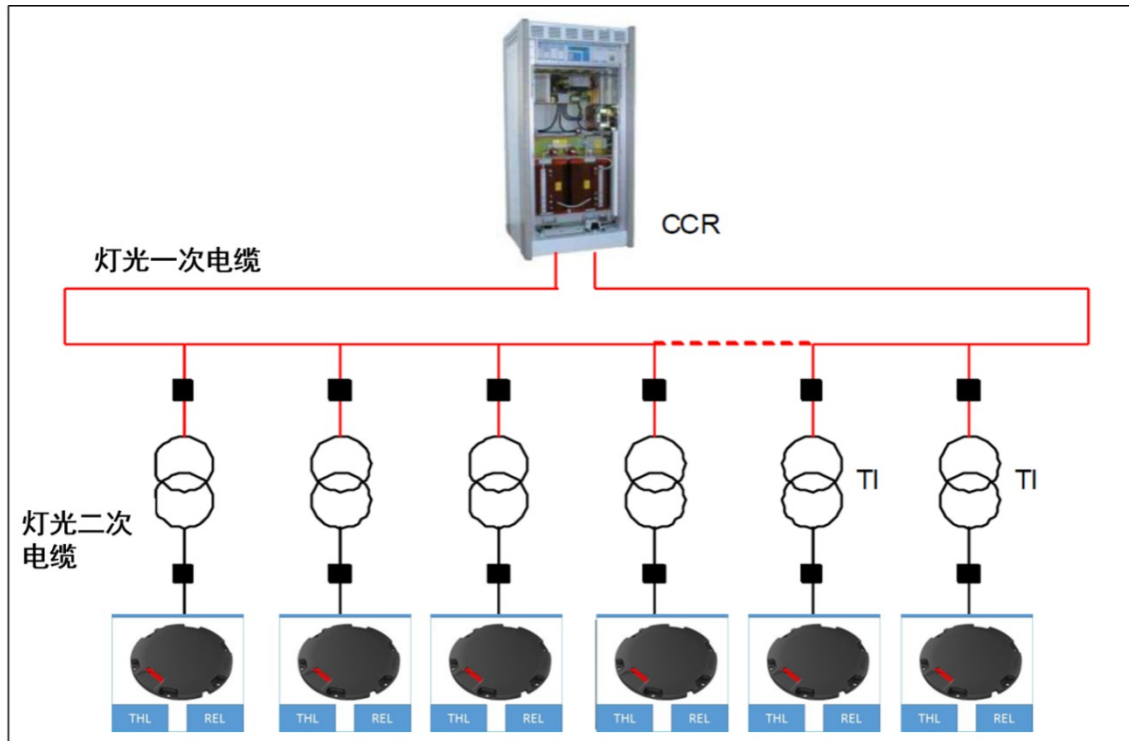


图 7—11 起飞等待灯供电回路示意图

(2) 跑道进入灯的供电与控制

鉴于当时的技术背景，戴高乐机场的跑道进入灯采用了低压并联的供电方式。由正弦电压适配器 PPC（Parallel Power Communication）取代恒流调光器，PPC 输出 480V 的低压交流电源，并将控制信号叠加上去，从而控制助航灯具的亮灭与光级。

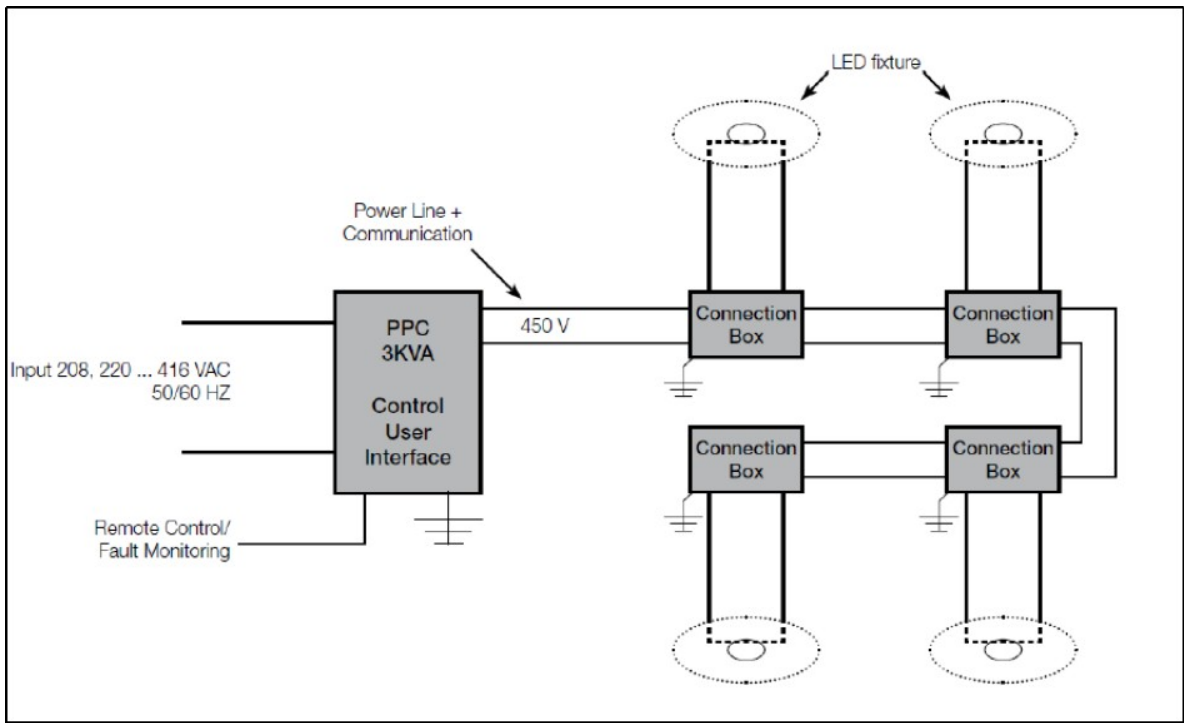


图 7—12 跑道进入灯供电回路示意图



图 7—13 跑道进入灯供电回路实物图

跑道进入灯采用的是一体式 IQ 灯具（智能灯具，内含单灯监控装置，仅作监视使用），取消了隔离变压器。因为他们认为，经过长时间使用后，隔离变压器的绝缘阻值会减小，从而大大降低了载波通讯的速率和质量。PPC 装置内含有回路选择器，最多可以对 15 组跑道进入灯进行控制；PPC 的容量一般为 3kVA，最多可以为 123 套 LED 灯具进行供电。供电电缆最长可敷设 5km。

由于跑道进入灯的使用反馈较好，戴高乐机场后续对停止排灯的回路进行了改造，采用了与跑道进入灯相同的供电控制方式。

（3）响应速度

虽然采用了不同的供电与控制方案，经检测起飞等待灯的响应时间为 1.5 秒~2 秒，跑道进入灯的响应时间为 1 秒，都满足机场安全运行的需求。

（4）跑道状态灯系统的设置

戴高乐机场全场一共设有 4 座塔台，分别为南塔台、北塔台、机坪塔台和中心塔台。跑道状态灯系统的数据处理器设置在中心塔台。跑道状态灯系统数据处理器采集机场场面探测设备（Airport Surface Detection Equipment—Model X，ASDE—X）的输出信息，融合飞机的速度、飞机和其他场面车辆的位置等数据，通过算法进行风险评估，进而产生报警信息。

ASDE—X 作为一种跑道安全工具，整合了多种来源的数据，

让管制员能够观察到潜在安全冲突。其利用了位于飞行区的场监雷达系统、多点相关定位系统传感器、广播式自动相关监视系统（ADS-B）、终端自动化系统和飞机应答机。这一切使得ASDE-X可以确定机场场面上的飞机、配备有应答机的车辆以及飞行在机场附近5海里位置内飞机的位置，并辨识它们。它可以提供给管制员彩色的地图显示，将跑道和滑行道上的所有飞机和车辆的位置信息展现给管制员，能够更好地提高安全性能，极大缓解跑道侵入风险。

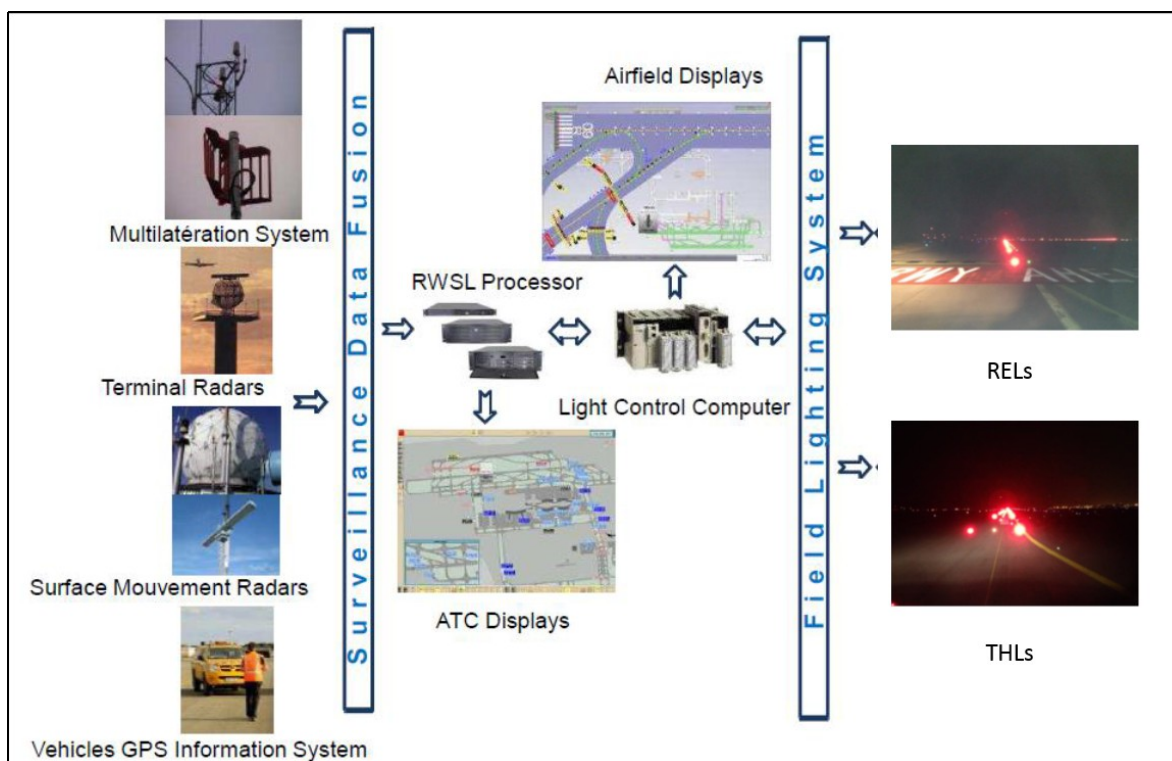


图 7—14 戴高乐机场跑道状态灯系统组成结构

(5) 运行时间设置

跑道状态灯系统是一套独立的全自动化系统，戴高乐机场权衡安全和运行效率，将安全裕度时间设置为 3 秒（该时间可以根

据不同机场的需求进行调整)。当离港航班沿着跑道起飞时,起飞等待灯将会提前 3 秒熄灭。当飞机在跑道等待位置等待穿越时,在离港飞机经过前 3 秒,系统会自动关闭跑道进入灯。哪条滑行道的跑道进入灯需要关闭,可结合离港飞机的位置和监测到的飞机滑跑速度进行计算并最终确认。

7.4 戴高乐机场跑道状态灯与停止排灯的配合

戴高乐机场全年约有 96% 的时间属于 I 类正常天气,只有 4% 的时间属于低能见度天气情况。在英国,无论是 I 类天气还是 II/III 类天气,均由位于 II/III 类等待位置的停止排灯控制飞机进入跑道。戴高乐机场认为这样的运行方式效率很低,所以在不牺牲运行效率的情况下,将停止排灯设置在距离跑道中线 150 米处的滑行道 II/III 类等待位置上,将跑道进入灯布置在距离跑道中心线 90 米处滑行道 I 类等待位置上。天气正常时,飞机会在 90 米处等待进入跑道;只有在低能见度时,停止排灯才会启用,依靠塔台管制人员手动操作,指挥飞机的运行。而跑道状态灯系统是全天候 24 小时不间断工作。

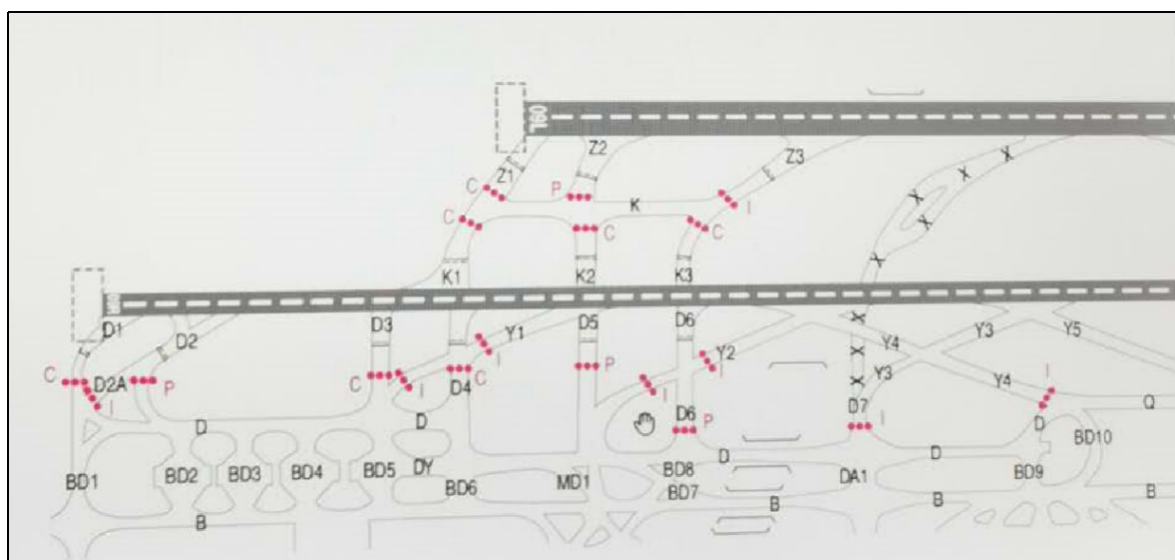


图 7-15 戴高乐机场北区停止排灯设置情况

戴高乐机场跑道状态灯系统，不同于希斯罗机场或迪拜机场等其他欧洲机场使用的“跟随绿灯”引导系统，也不同于在低能见度情况下使用的停止排灯控制系统，它是一套全自动且独立运行的系统。跑道状态灯系统不仅适用于飞机，也适用于所有配备应答机的维护运行车辆。跑道状态灯系统向车辆驾驶员和飞行员提示相同的信息。在戴高乐机场，为了保证安全，所有车辆必须在 CATIII 跑道等待位置线前等待塔台指令。

7.5 戴高乐机场跑道状态灯调研成果总结与思考

7.5.1 跑道状态灯的防跑道入侵作用分析

根据机场提供的数据，按照跑道状态灯系统的潜在影响大小，将戴高乐机场 2011 年至 2016 年发生的跑道侵入事件划分为 3 类，如图 7—16 所示。深蓝色柱（R）表示无法界定该侵入事件是否会受跑道状态灯的影响避免发生；蓝色柱（N）表示跑道状态灯无法阻止该侵入事件的发生；红色柱（O）表示跑道状态灯可以有效阻止该侵入事件的发生。

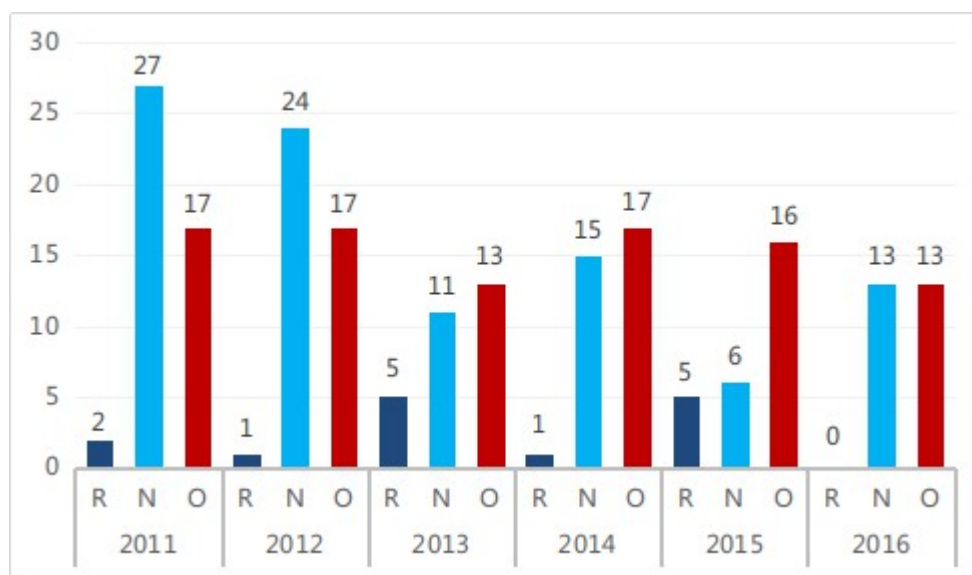


图 7—16 2011—2016 戴高乐机场 RWSL 对跑道侵入的潜在影响分析

经分析发现，从 2011 年到 2016 年，跑道状态灯可以对戴高乐机场约 46% 的跑道侵入事件的产生发挥着积极的影响。我们可以得出结论，跑道状态灯可以有效的降低跑道侵入事件的发生，从而保证跑道的安全运行。

7.5.2 跑道状态灯系统建设的职责分工

在法国，由民航局、机场、空管塔台和航空公司四方组成的安全运行委员会共同决策评估跑道状态灯系统的建设实施。他们有各自的分工，法国民航局负责跑道状态灯系统所需要的融合数据；空管塔台运行使用，系统软件由第三方提供；机场负责飞行区助航灯光系统的建设。

跑道状态灯系统在我国推广，同样需要局方、机场、空管塔台和航空公司的协同合作。

- 由局方推进跑道状态灯系统标准的制定；
- 由空管加快地面引导控制系统的建设，提供 Cat-062 接口，配合第三方软件商，完善跑道状态灯系统的运行逻辑；
- 航空公司需要对飞行员进行跑道状态灯系统的培训，并采购安装机载设备；
- 机场需要推进跑道状态灯系统的硬件设施建设，完善车载应答系统。

7.5.3 戴高乐机场跑道状态灯设置的亮点

根据附件 14 第 I 卷（第八版）5.3.30.3 中关于起飞等待灯

的说明，“所安装的起飞等待灯必须位于跑道中线灯两侧偏离中线灯 1.8 米之处，并从距离跑道开始处 115 米的一个点开始，向后成对延伸，每 30 米一对，至少延伸 450 米。”

值得注意的是，戴高乐机场结合运行安全和机场平面构型，将起飞等待灯从距离跑道入口 119 米处开始设置，向后成对延伸，灯带长度保证了飞机无论从哪条滑行道进入跑道准备起飞，其前方都会有约 450 米长的起飞等待灯带，供飞行员观察。如图 7-17 所示，THL-Y1 和 THL-Y2 长度均为 450 米，分别为滑行道 Y1 和 Y2 服务。经运行后反馈，飞行员认为，起飞等待灯的警示效果是显著的。

戴高乐机场结合自己的跑道、滑行道构型，灵活运用了起飞等待灯的设计规范，为飞行员提供了有效长度的目视助航警告信息，该设计思路是值得我们借鉴的。

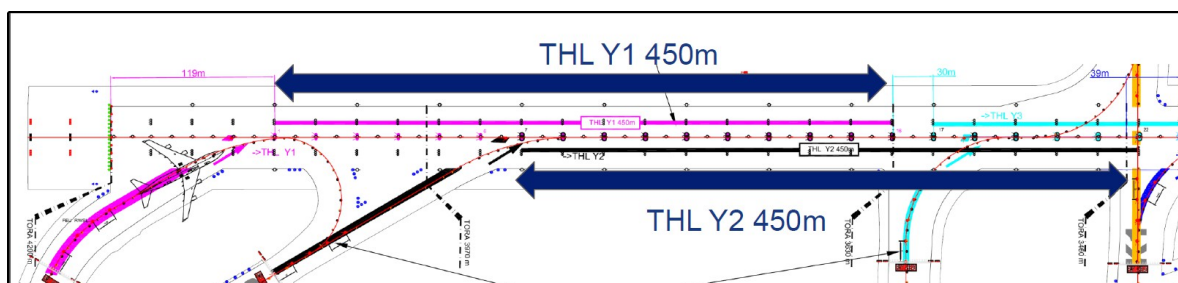


图 7-17 起飞等待灯的设置

7.5.4 我国跑道状态灯系统建设的思考

ICAO 将跑道安全事件分为冲偏出跑道、跑道混淆和跑道侵入三类不安全事件。而跑道侵入是目前民航业最重要的安全问题之一，几乎无法避免。但凡发生跑道侵入事件，造成飞机碰撞，

后果的严重性都是不可承受的。

所以跑道状态灯在我国机场的推广，需要有效性、合理性，和适度超前。只要存在穿越跑道的可能，无论机场的繁忙程度是多少，哪怕只有一次穿越跑道的可能，跑道状态灯系统都应是一种理想的技术手段，以减少跑道侵入事故的发生；应在机场建设中得到积极推广。这需要结合机场的平面构型、运行方式和远期规划等。对今后扩建可能会发生穿越跑道的机场，应在本期建设时，优化设计方案，预留好跑道状态灯的硬件设施，例如灯坑、二次电缆保护管、灯箱等，这样有利于今后的不停航施工，避免日后再次开挖道面，降低建设成本。

8 跑道状态灯在我国的适用性分析

FAA 从 2005 年开始在美国四个机场进行测试，随后又在各大繁忙机场完成了跑道状态灯的安装工作。截至到 2019 年，已经在美国 20 个繁忙机场完成安装并运行。在欧洲，2013 年——2016 年苏黎世机场和戴高乐机场在已经安装停止排灯的基础上选择了跑道状态灯，用以防止跑道侵入，并对跑道进入灯 (RELS)、起飞等待灯 (THLS) 的防跑道侵入作用进行评估，效果很好。2008 年 7 月韩国仁川机场在机场二期工程建设中启用 ASDE-X 技术，为引入跑道状态灯技术奠定实施基础；日本羽田机场也展开了相关测试或实际运行。从运行绩效看，在跑道构型复杂（有跑道穿越）、运行繁忙的机场，设置跑道状态灯对于有效预防和减少跑道侵入事件的数量、降低跑道侵入的严重性、

减少人为因素导致的跑道侵入、保障飞行区运行安全等方面具有积极的实际意义。我国大型繁忙机场可以借鉴参考欧美的实践相关经验，推广安装跑道状态灯。

8.1 跑道状态灯的安装及其作用分析

跑道侵入的发生除了人为因素外，机场设计的构型复杂或者不适当都会很大程度地增加跑道侵入发生的可能性。很多研究显示，跑道侵入发生的频率与穿越跑道的次数和机场布局特点相关。

常见因素包括：与跑道邻近的道路和滑行道在内的机场布局较复杂；跑道端没有避免穿越跑道的绕滑滑行道。

目前，我国大型繁忙机场的构型基本分为以下三类：

A. 两组近距跑道之间为远距跑道，中间布置一个航站区，如：浦东机场；

B. 三条远距跑道、每组远距跑道之间布置航站区，共两个航站区，如：北京首都机场；

C. 两组近距跑道之间为远距跑道，但其中一组为非平行跑道，如：北京大兴机场、成都天府机场。



图 8—1 上海浦东国际机场

在这三种构型之上，还有其它衍生构型，如构型 B 三条远距之外，其中还有一组或两组近距跑道，如广州白云机场、规划的昆明长水机场等。

目前，我国最多见的大型机场构型是 A 模式，它与美国的测试机场洛杉矶（LAX）的跑滑构型很相似。下面就以某机场为例，分析一下构型 A 机场的跑道状态灯设置方案。

8.2 跑道状态灯的设置方案及其作用分析

示例机场建有四条跑道，主要的运行模式为：靠近航站楼的一、二跑道用于起飞，远离航站楼的三、四跑道用于降落，从三、四跑道降落的飞机穿越一、二跑道进入航站区机位。一、三跑道和二、四跑道构成了二组近距运行跑道。

表 8—1 示例机场跑道精密进近灯光配置

跑道序号	跑道号码	跑道运行等级	进近配置等级	跑道等级
第一跑道	17L	CATII	CATII/III 精密进近系统	4E
	35R			
第二跑道	16R	CATI	CATII/III 精密进近系统	4F
	34L	CATII/IIIA		
第三跑道	17R	CATI	CATI 精密进近系统	4F
	35L			
第四跑道	16L	CATI	CATI 精密进近系统	4F
	34R			

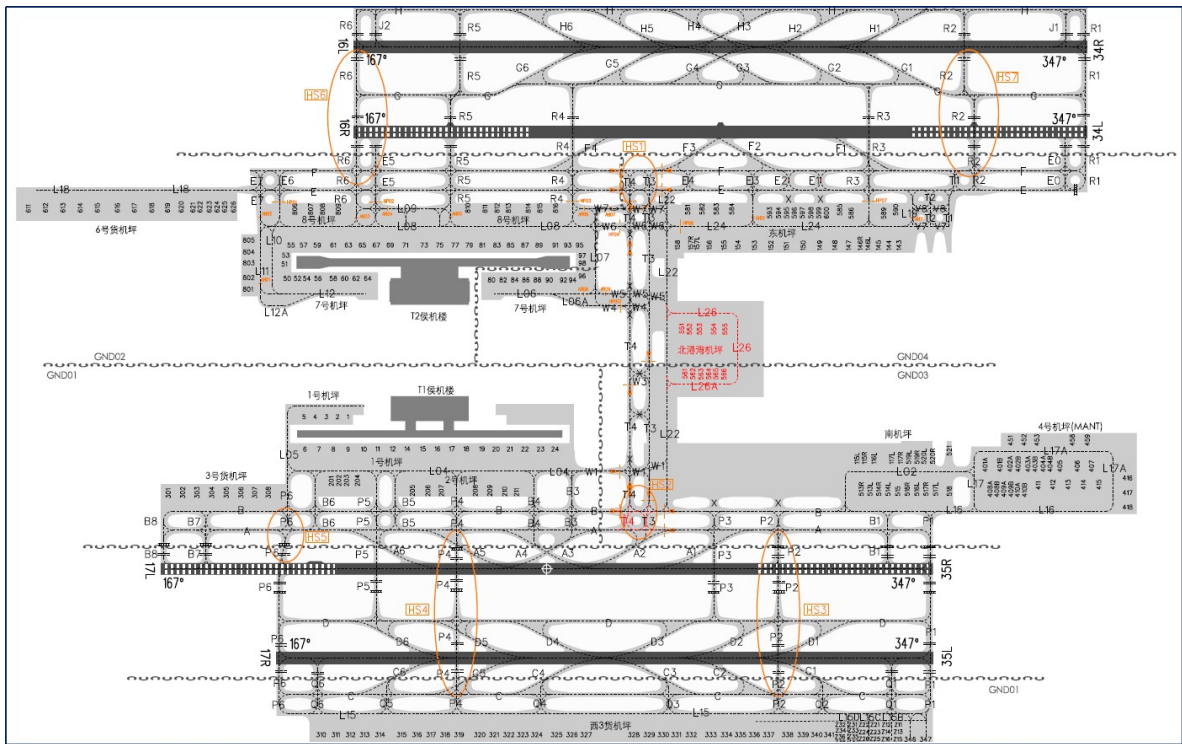


图 8—4 示例机场总平面图

示例机场一、三跑道间共有六条穿越联络道，分别为 P1、P2、P3、P4、P5 以及 P6，其中 P3 和 P5 在 I 类运行时供航空器双向穿越，II/III 类运行时禁止使用。进出西货运机坪的起降航空器穿越一跑道时，遵循近端穿越的原则：向北运行时使用联络道口 P2 穿越；向南运行时使用联络道口 P4 穿越。使用三跑道落地航空器，需要穿越一跑道时：向北运行时使用联络道口 P4、P5、P6 远端穿越；向南运行时使用联络道口 P3、P2、P1 远端穿越。一、三跑道向北运行和向南运行时跑道穿越示意如图 8—5 和图 8—6。

络道口 R4、R5 和 R6 远端穿越。二、四跑道向北运行和向南运行时跑道穿越示意如图 8—7 和图 8—8。

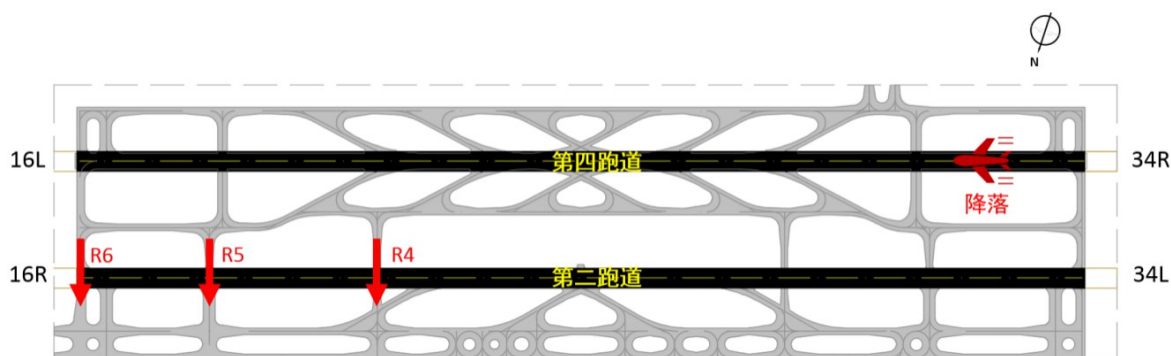


图 8—7 二、四跑道向北运行跑道穿越示意图

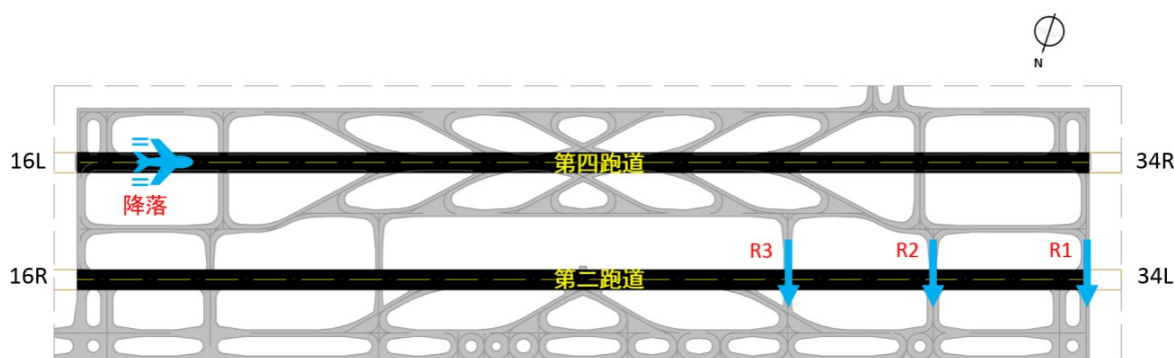


图 8—8 二、四跑道向南运行跑道穿越示意图

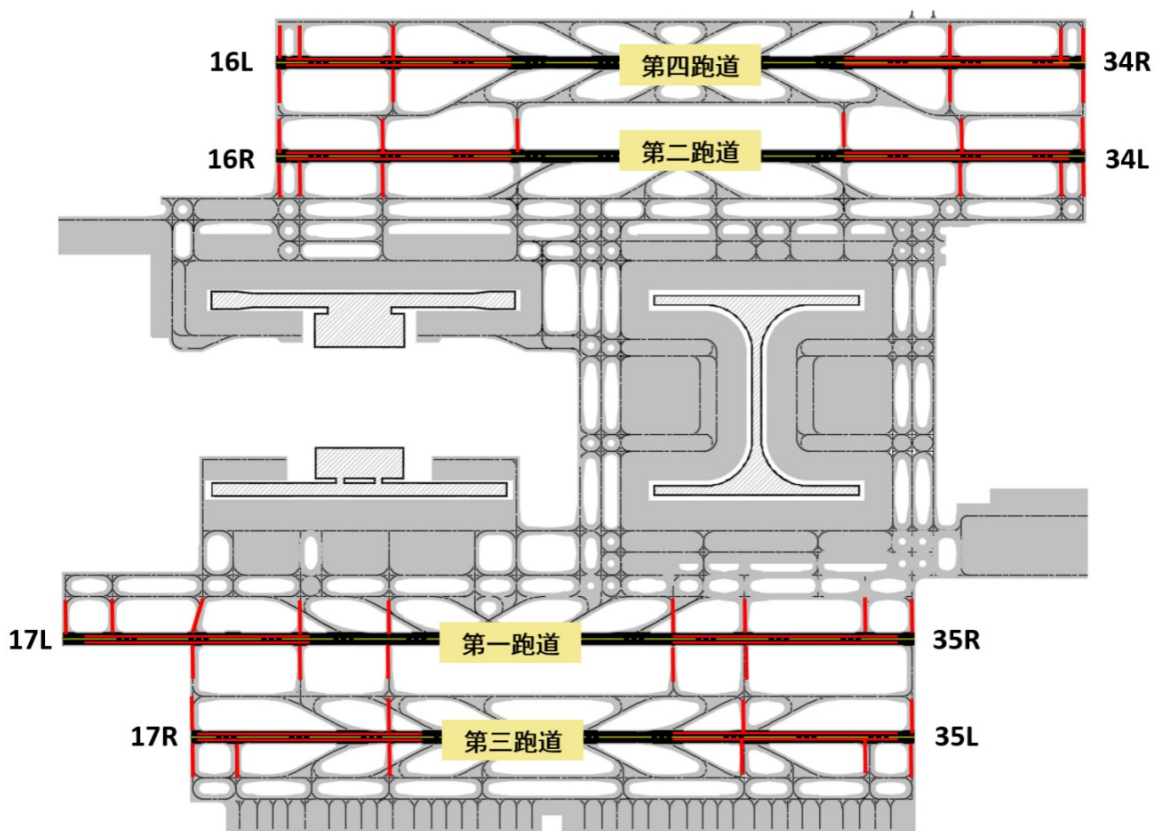
综上所述，该机场运行冲突热点区域众多，参见图 8—4 黄色区域。该机场目前日平均起降架次已超过 1400 架次。其中使用 17R/35L 跑道落地后穿越 17L/35R 跑道的航班约为 300 架次；使用 16L/34R 跑道落地穿越跑道 16R/34L 跑道航班约为 350 架次。据不完全统计，该机场的离港航班平均出港滑行时间约为 19.8 分钟，进港航班的平均进港滑行时间约为 12.7 分钟。穿越跑道的频繁，运行安全风险较高。因此安装跑道状态灯是非

常必要的。

根据示例机场的实际运行环境，跑道状态灯的建议安装位置如表 8—2 和图 8—9 所示：起飞等待灯共 8 处，跑道进入灯共 46 处。这样，所有进入或穿越跑道的滑行道口均布置跑道进入灯 (RELS)；所有用于起飞的跑道端均安装起飞等待灯 (THLs)。此布置方式可有效地防止跑道侵入的发生。现实运行中，如果考虑三、四跑道用于起飞的几率不高，可以参照法国戴高乐机场的设置方式，即外侧用于降落的三跑道、四跑道暂不安装跑道两端的起飞等待灯 (THLs)。

表 8—2 建议跑道状态灯安装位置

跑道	RELS 位置	THLs 位置
17L/35R 第一跑道	西侧：滑行道 P1、P2、P3、P4、P5、P6 东侧：滑行道 P1、B1、P2、P3、P4、P5、P6、 B7、B8	跑道 17L 入口前
		跑道 35R 入口前
17R/35L 第三跑道	西侧：滑行道 P1、Q1、P2、P4、Q6、P6 东侧：滑行道 P1、P2、P4、P6	跑道 17R 入口前
		跑道 35L 入口前
16R/34L 第二跑道	西侧：滑行道 R1、E1、R2、R5、E5、R6 东侧：滑行道 R1、R2、R3、R4、R5、R6	跑道 16R 入口前
		跑道 34L 入口前
16L/34R 第四跑道	西侧：滑行道 R1、R2、R5、R6 东侧：滑行道 R1、J1、R2、R5、J2、R6	跑道 16L 入口前
		跑道 34R 入口前



注：红色实线条表示跑道进入灯和起飞等待灯

图 8—9 RWSL 建议安装位置

8.3 跑道状态灯、停止排灯的设置及其适用性分析

如图 8—4 所示，示例机场一跑道南、北双向设置了 II 类精密进近灯光系统；二跑道南设置了 III 类精密进近灯光系统，北设置了 I 类精密进近灯光系统；三、四跑道双向设置了 I 精密进近灯光系统。根据规范要求，通向 II/III 跑道的所有滑行道口的 II/III 类等待位置均设置了停止排灯，在 II/III 天气条件下开放，飞机通过塔台或进程单控制停止排灯的亮灭，控制飞机的放行。在上述位置设置的跑道状态灯（THLs 共 8 处，RELs 共 46 处），在 I 类天气条件下全天候开放，飞机在跑道进入灯

(RELS) 等待位置等待，接到塔台放行指令后通过，在保证运行效率的前提下，增加了一道自动的防跑道侵入的安全防线。跑道状态灯的设置与现有停止排灯的设置运行是相适宜的。

9 跑道状态灯设计指南

9.1 系统总体配置要求

跑道状态灯系统的总体配置包括：设置前提和系统构成。如图 9—1 所示，跑道状态灯系统设置的前提是场面监视系统，跑道状态灯系统包括控制处理子系统、灯光子系统等。

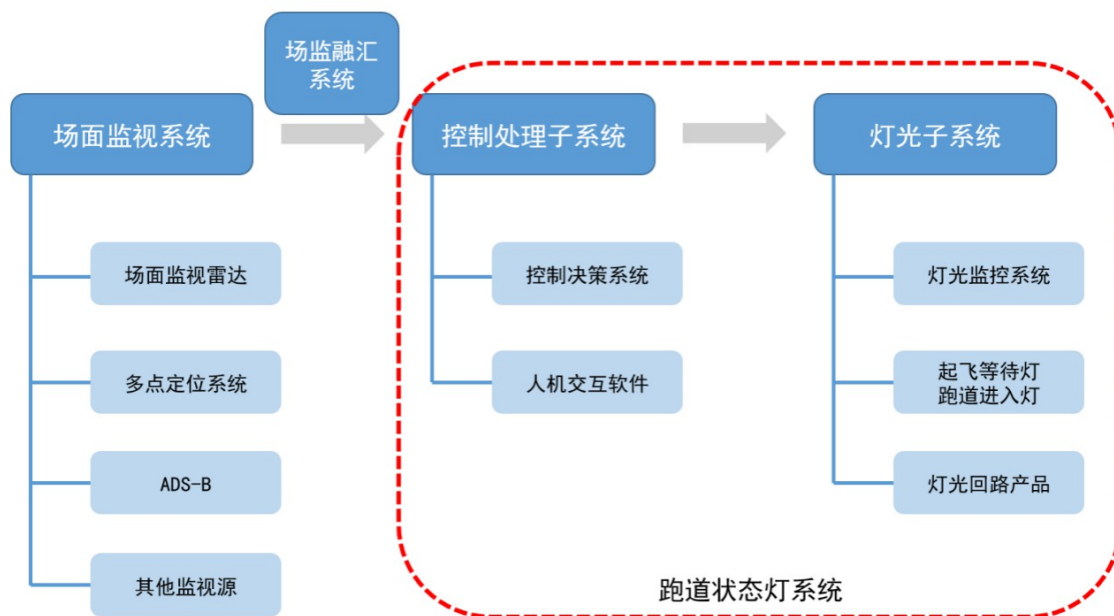


图 9—1 跑道状态灯设置及组成图

9.1.1 场面监视系统

场面监视系统将场面监视源所获得原始数据提供给场监融汇系统。场监融汇系统整合包括：场面监视雷达、多点相关定位系

统传感器、广播式自动相关监视系统（ADS-B）、终端自动化系统和飞机应答机等多种来源的数据，可为跑道状态灯系统提供完整、连续、高精度的场面交通态势数据。场面监视系统一般由空管建设，同时，场监融汇系统在我国部分大型机场已有应用，年旅客吞吐量在 1000 万以上的机场基本都已建成或在建中。对于没有场监融汇系统的中小型机场，跑道状态灯系统应具有一定的数据融汇功能，可处理达到相应精度的数据源。

9.1.2 控制处理子系统

1) 跑道状态灯的控制处理子系统由控制处理器和人机交互界面组成。跑道状态灯控制处理器建议设置在塔台，控制处理器接收场监融汇系统的输出信息，基于跑滑构型、运行规则，融合飞机的速度、飞机和其他场面车辆的位置等数据，通过算法进行识别和预测，判断跑道状态，决策并发出控制指令。跑道状态灯系统人机交互软件将实时的跑道状态灯控制指令传输给灯光监控系统或跑道状态灯显示屏。灯光监控系统接收控制处理子系统的灯光控制指令，对跑道进入灯（RELs）、起飞等待灯（THLs）进行开关控制。

2) 控制处理子系统从塔台顶层的跑道状态灯控制处理器到灯光站的灯光监控系统计算机，直到飞行区设备之前全部采用冗余构架。

3) 塔台和灯光站的助航灯光监控系统中增加跑道状态灯实时状态显示功能。

9.1.3 灯光子系统

1) 灯光子系统包括灯光监控系统、灯具（跑道进入灯、起飞等待灯）、灯光回路产品（调光器、隔离变压器、单灯监控单元、电缆）等。

2) 跑道状态灯的整体系统与其它助航灯光相对独立。灯光站内跑道状态灯的调光器布置在相对独立的区域。

9.2 跑道状态灯的设计

9.2.1 一般要求

1) 跑道状态灯的设置需要结合机场的平面构型、运行方式和远期规划进行设计。

2) 应在各个通向跑道的滑行道口的 I 类等待位置设置跑道进入灯。

3) 对于可能发生穿越的跑道，在其所有用于起飞的跑道入口处，应设置起飞等待灯。

4) 跑道状态灯的设置需对跑道构型和本地运行程序进行初步个案研究，以决定跑道进入灯在跑道进出口及起飞等待灯在跑道上的最终位置。

■跑道进入灯和起飞等待灯尽可能安装在离场跑道上。

■单跑道构型在两侧均运行的情况下，可使用跑道状态灯。

两侧均运行的跑道可根据跑道与滑行道相交的进出口的数量和用于起飞的跑道入口处情况，在两侧的跑道进出口均设置跑道进入灯，在跑道起飞的跑道入口处设置起飞等

待灯。

■对于着陆跑道，除非与滑行道或跑道交叉，建议不设置跑道状态灯。

■对于多跑道机场，尤其是拥有两条平行跑道或出现交叉跑道的机场，在离场跑道上使用起飞等待灯和跑道进入灯。

5) 跑道状态灯的两个基本目视组成部分跑道进入灯和起飞等待灯可以单独安装、单独开放。

6) 规划中可能会发生穿越的跑道，应在本期建设时，与场道专业协同预留好跑道状态灯的硬件设施，例如灯坑、二次电缆保护管、灯箱等，便于今后的不停航施工，避免日后再次开挖道面。

9.2.2 灯光监控系统

1) 塔台

塔台设置互为冗余的跑道状态灯控制处理器、显示终端设备、交换机网络设备及配套通讯接口。控制处理器信号引接场面监视系统，场面监视系统与跑道状态灯系统之间应有防火墙，能进行系统间有效的安全隔离。塔台管制员席位增加跑道状态灯显示功能。根据需求可设置模拟培训系统和模拟测试平台，增加场面监视系统的测试功能，测试平台包括数据融合处理器、记录回放服务器、技术维护工作站等。

2) 灯光站

灯光站设置互为冗余的跑道状态灯监控计算机、单灯融汇服务器，单灯融汇服务器通过单灯调制解调器向调光器的灯光回路

发送单灯控制指令。灯光站设置灯光控制柜、单灯监控柜、单灯滤波柜等设备。

3) 接线

塔台至灯光站铺设光纤，跑道状态灯控制处理器输出灯光控制指令，通过光纤发送给灯光站的灯光监控子系统；也可借助航空灯光监控系统的光纤主干网进行信息传输。

4) 主要指标

- 场面监视系统数据融合后航空器或车辆定位精度 ≤ 7.5 米；
- 系统检测到目标位置到激活跑道状态灯灯光系统的响应时间 < 2 秒。

注：跑道状态灯系统从场面监视系统接收场面监视数据，通过跑道状态灯控制处理器进行安全逻辑处理生成灯光控制指令，并将控制指令发送给灯光监控系统完成现场的跑道状态灯灯光设备的开启/关闭控制的时间为响应时间。

- 控制处理系统容量应满足机场远期规划的所有跑道的跑道进入灯组数、起飞等待灯组数，并且留有适当余量。

9.2.3 灯光布置

9.2.3.1 跑道进入灯 (RELs)

跑道进入灯由一行沿航空器朝跑道进近的方向发红色光的嵌入式恒定发光灯组成。一组跑道进入灯应至少包括 5 个灯，并且须根据所涉滑行道的长度，保持最小 3.8 米及最大 15.2 米的纵向间隔，但安装在跑道中线附近的那个灯具除外。灯具偏离滑行

道中线 0.6 米，位于滑行道中线灯的对面一侧，并在跑道等待位置前面 0.6 米处开始，一直延伸至跑道边缘处。在跑道上离跑道中线 0.6 米处额外安装一个灯具，并与滑行道上的跑道进入灯对准。跑道进入灯的最大纵向间距应符合表 9—1 的规定。

表 9—1 跑道进入灯纵向安装间隔表

		最大纵向间距	
		RVR 不小于 300m	RVR 小于 300m
中心线弯曲半径	23m~121m	7.5m	4m
	122m~364m	15m	7.5m
	365m 及以上	30m	15m
锐角倾斜出口		15m	15m
直线垂直出口		30m ¹	15m ¹

注 1：短滑行道情况，安装间距需根据实际情况减小。

跑道进入灯的布局与跑滑构型相关，根据滑行道与跑道的夹角大小，将跑道进入灯的布置分为 3 种模式：

- 滑行道与跑道垂直的构型，例如直线进入、穿越，见图 9—2—1、图 9—2—2 和图 9—3；
- 滑行道与跑道夹角大于 60° 的构型，见图 9—4；
- 滑行道通过弯道进入跑道的构型，见图 9—5。

1) 垂直构型

以直线进入跑道（或穿越）的滑行道上的跑道进入灯，可采用附件 14 第 I 卷附录 2 图 A2—12 的光强和光束扩散角，建议

跑道上最后一个灯使用宽光束灯具。

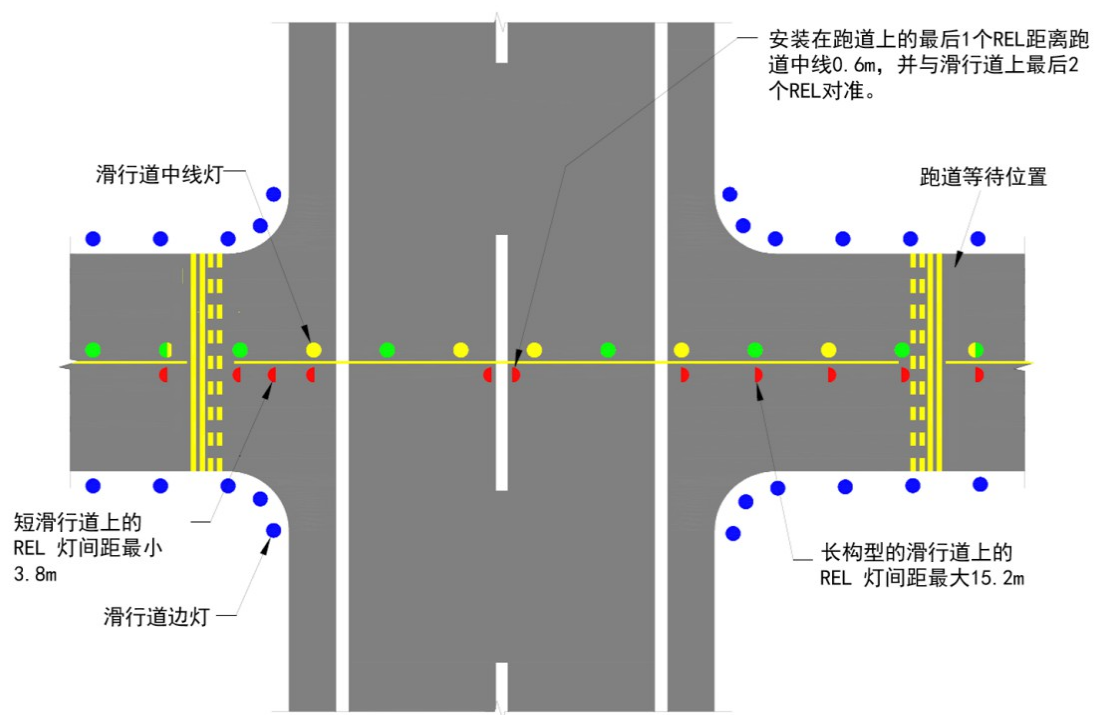


图 9—2—1 跑道进入灯的基本构型（滑行道与跑道垂直）



图 9—2—2 跑道进入灯基本构型（滑行道与跑道垂直）实拍图

对于单滑行道多滑行线垂直进入跑道的构型，跑道进入灯的布置示例见图 9—3；

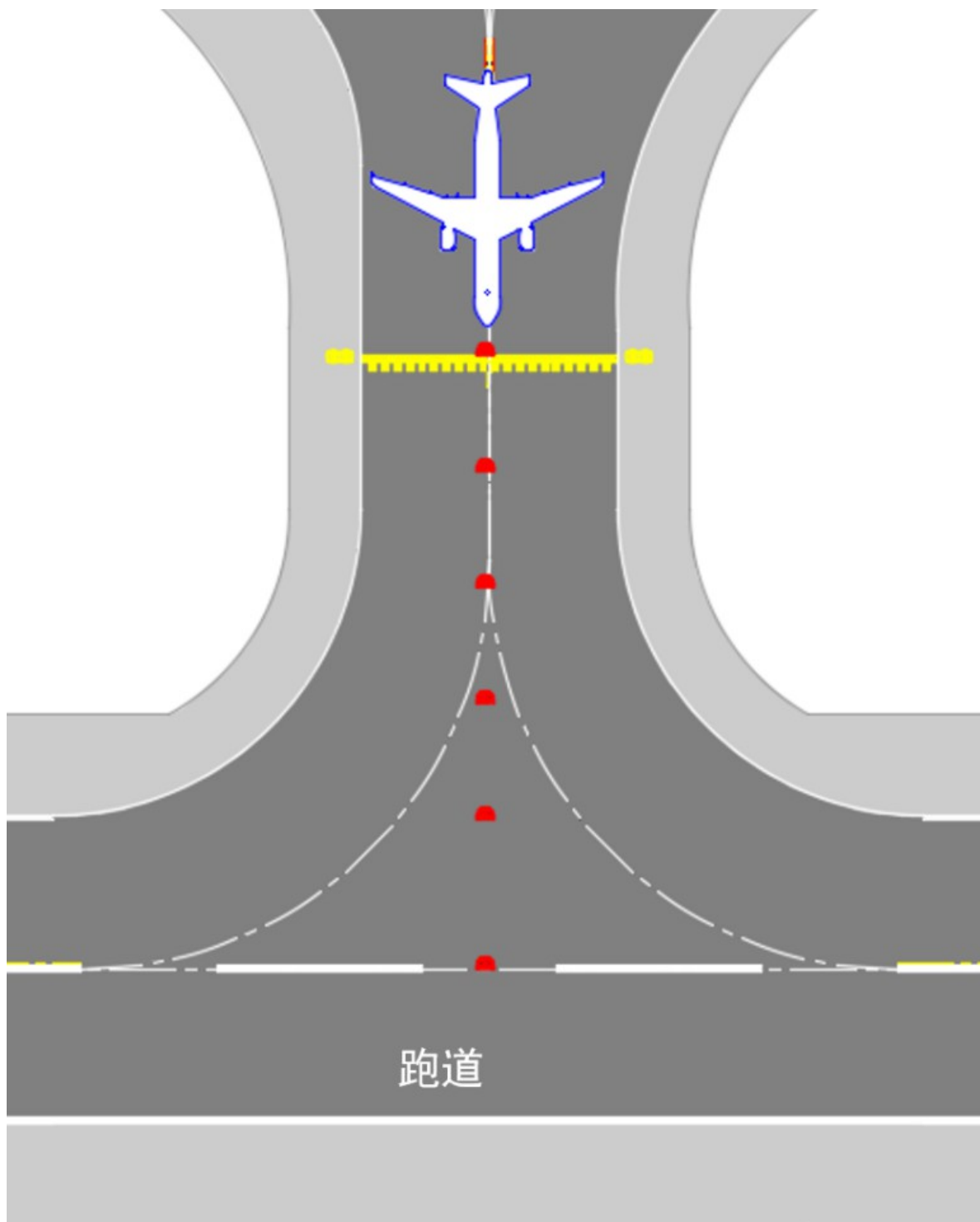


图 9—3 单滑行道多滑行线进入跑道

2) 角度构型

滑行道与跑道中线不垂直，但夹角不小于 60° 时，跑道进入灯的位置、间隔和灯具选型与垂直构型的情况相同。当跑道与滑行道呈锐角交叉时，交叉处安装的跑道进入灯的光束宽度适当降低，应确保跑道上看不见跑道进入灯。

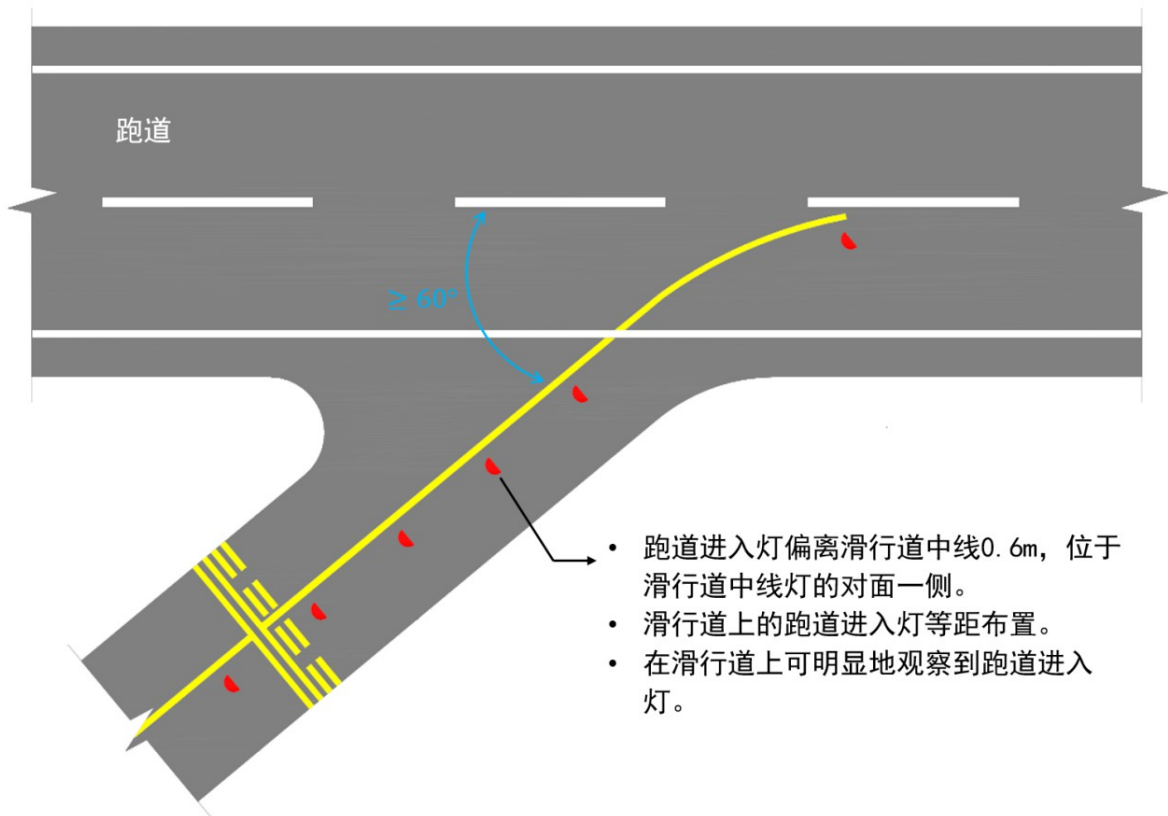


图 9—4 跑道进入灯夹角安装（直线滑行道与跑道的夹角大于 60° 的情况）

3) 弯道构型

当等待位置标志和跑道之间的滑行道中线有弧度时，跑道进入灯应位于跑道边缘附近最后两个纵向灯的延长线上。弯曲滑行道上的跑道进入灯可采用附件 14 第 I 卷附录 2 图 A2—14 或更宽的光束，但要避免干扰周围的作业。

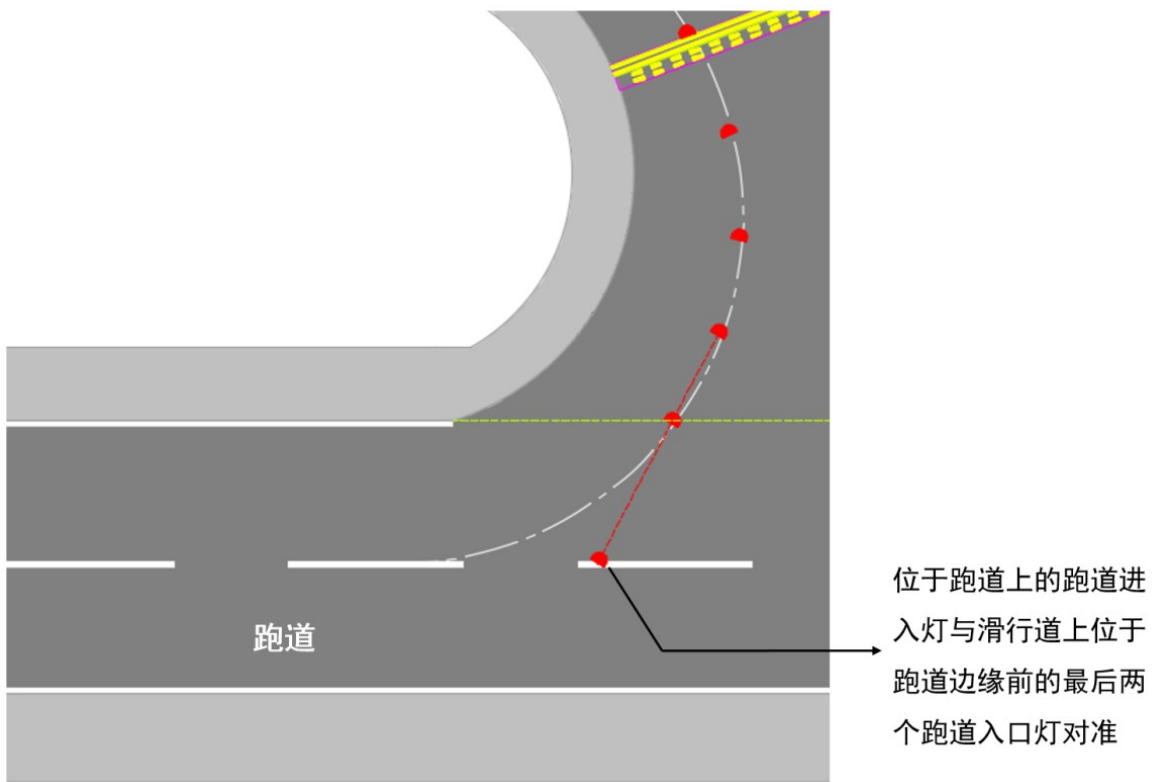


图 9—5 滑行道通过弯道进入跑道

跑道进入灯的光强和光束扩散角必须符合附件 14 附录 2 图 A2—12 和 A2—14 的要求。

每组跑道进入灯须在该系统确定需要发出警告后 2 秒内开亮。

9.2.3.2 起飞等待灯 (THLs)

起飞等待灯须位于跑道中线灯两侧偏离中线灯 1.8 米之处，并从距离跑道开始处 115 米的一个点开始，向后成对延伸，每 30 米一对，至少延伸 450 米。由两排朝起飞航空器方向发红色光的嵌入式恒定发光灯组成。需要说明的是，第一组起飞等待灯与跑道端的间距，可根据实际跑道灯光系统的设计，可在 115 米的基

础上前后 7.5 米范围进行调整，以达到与跑道灯光系统有较好的视觉匹配效果。

相邻的两对起飞等待灯的布置方式，可根据具体跑道灯光的布置情况进行确定：

- 1) 靠近前后两个跑道中线灯的中点，如图 9—6；
- 2) 靠近跑道中线灯，如图 9—7。

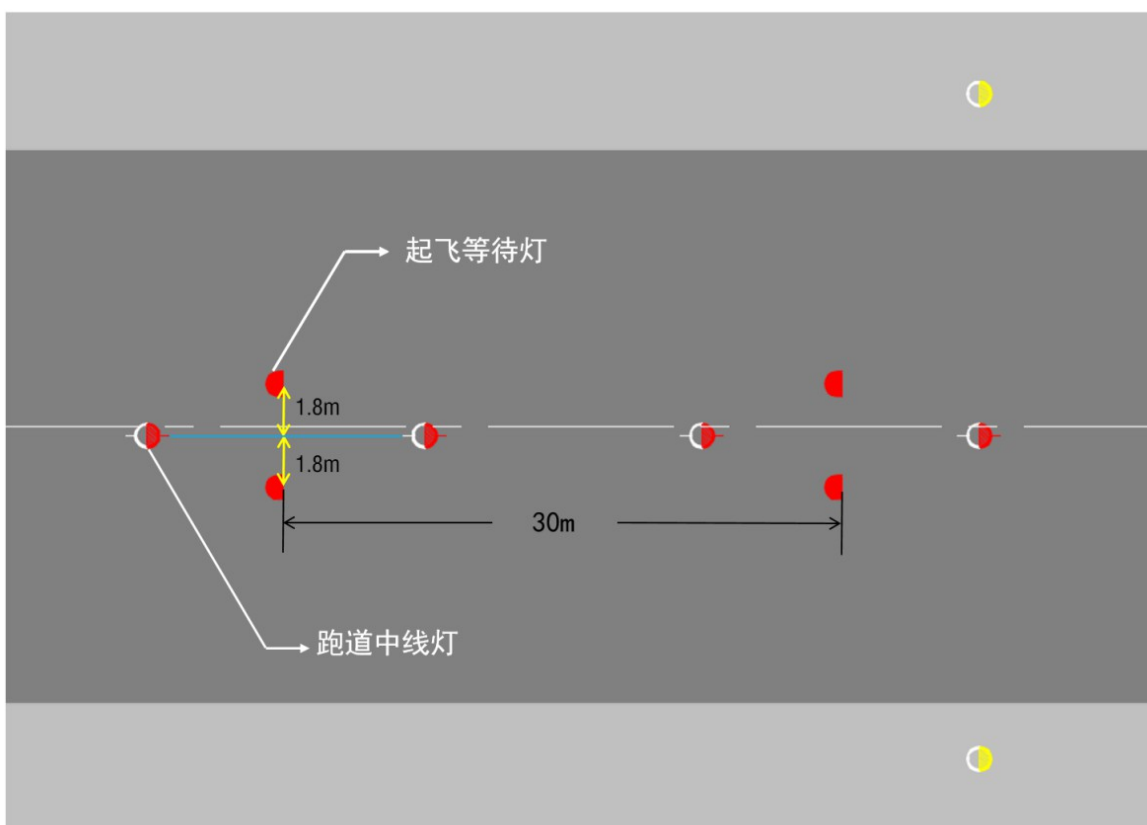


图 9—6 相邻两对起飞等待位置灯的灯具位置（一）

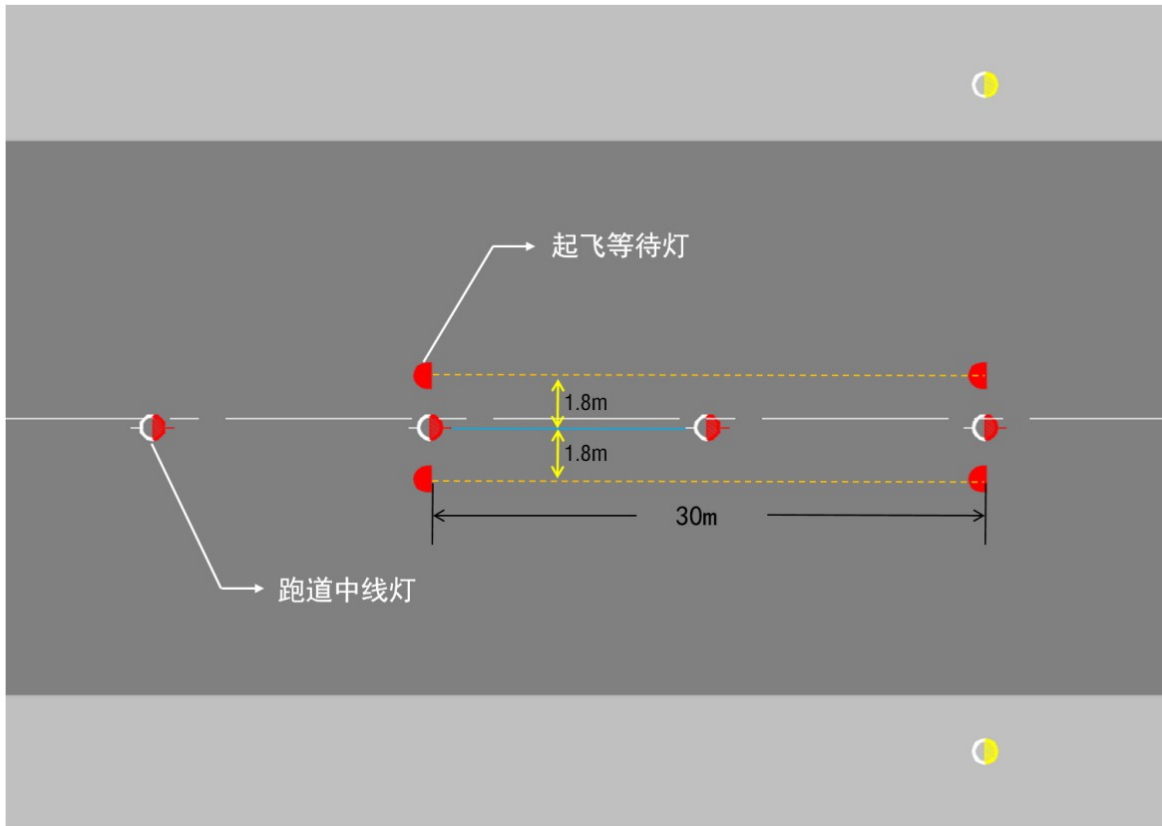


图 9—7 相邻两对起飞等待位置灯的灯具位置（二）

当跑道具有多个起飞点时，起飞等待灯应设计得满足飞机从任意一个起飞点起飞时其前方的起飞等待灯的长度应至少延伸 450 米。

起飞等待灯的光强和光束扩散角须符合附件 14 附录 2 图 A2—26 中要求。

每组起飞等待灯须在该系统确定需要发出警告后 2 秒内开亮。

9.2.4 灯光回路

9.2.4.1 恒流调光器（CCR）

跑道进入灯（RELs）、起飞等待灯（THLs）回路均应采用

正弦波调光器。每组跑道进入灯 (RELS)、起飞等待灯 (THLs) 的调光器设置于就近的灯光变电站内, 与其它灯光系统的调光器位置相对独立。跑道进入灯 (RELS)、起飞等待灯 (THLs) 的调光器供电回路均采用四用一备的配置方式。调光器通过串行的一次高压电力电缆为跑道状态灯系统外场的灯具、控制模块及通信设备提供电力供应。调光器应当提供远程监控功能, 调光器四备一切换柜的切换时间 <1 秒, 调光器设备应遵循《恒流调光器》(MH/T 6010—2017) 相关的标准要求。

9.2.4.2 单灯监控单元

每个跑道进入灯 (RELS)、起飞等待灯 (THLs) 隔离变压器次边至灯具之间设置单灯监控单元, 提供对灯具的电力供应、控制及电流、电压、负载状态的监控功能。当监控单元发生故障时, 将在隔离变压器二次侧短接。跑道状态灯监控系统至单灯监控单元间的通信方式应当保证对跑道状态灯控制的高可靠性和即时性。单灯监控单元的防护等级应为 IP68。

9.2.4.3 隔离变压器

跑道进入灯 (RELS)、起飞等待灯 (THLs) 的隔离变压器采用低漏感隔离变压器。设备应遵循《助航灯光隔离变压器》(MH/T 6008—2016) 相关的标准要求。

9.2.5 供电及控制

每组跑道进入灯 (RELS)、起飞等待灯 (THLs) 由独立的、专用的调光器串联供电, 由灯光监控系统或调光器进行光强调节

及回路通/断控制。

9.3 停止排灯的优化设计

9.3.1 已经安装停止排灯的机场，应尽快完成进程单自动控制，提高停止排灯的使用率，减少管制人员的工作量，避免人为因素造成的跑道侵入。

9.3.2 已经在 I 类等待位置安装停止排灯的机场应尽快完成进程单的自动控制，不宜在该位置再设置跑道进入灯，避免重复投入造成浪费。

9.4 跑道状态灯的运行建议

9.4.1 建议 I 类天气条件下，飞机进入跑道前在 I 类等待位置等待，受控于塔台管制和跑道状态灯的状态；所有配备应答机的车辆在 I 类等待位置前等待塔台指令。

9.4.2 建议 II/III 类天气条件下，飞机进入跑道前在 II/III 类等待位置等待，受控于塔台管制和停止排灯；所有配备应答机的车辆在 II/III 类等待位置前等待塔台指令。

9.4.3 无论何种天气状况，建议运行中的机场跑道，其跑道状态灯全天候开放。

10 参考文献

- 1) 《国际民用航空公约附件 14—机场》(第八版)
- 2) 《民用机场飞行区技术标准》(MH5001—2021)
- 3) 《机场设计手册》第四部分—目视助航设施(国际民航组织)
- 4) 《机场设计手册》第四部分—电力系统(国际民航组织)
- 5) 《先进的场面活动引导和控制系统(ASMGCS)手册》(ICAO—9830)
- 6) 《地面移动引导与控制系统(管制系统)手册》(ICAO—9476)
- 7) 《民用机场目视助航设施施工质量验收规范》(MH5012—2021)
- 8) 《民用机场灯具一般要求》(GB/T7256—2015)
- 9) 《助航灯光隔离变压器》(MH/T 6008—2016)
- 10) 《恒流调光器》(MH/T 6010—2017)
- 11) 《民航空管防止跑道侵入指导材料》(IB—TM—2013—D02)
- 12) 《机场助航灯光回路用埋地电缆》(MH/T6049—2020)
- 13) 《跑道和滑行道助航灯具技术要求》(AC—137—CA—2015—03)
- 14) 《民用机场 LED 助航灯具通用技术要求》(AC—137—CA—2015—01)

15) 《民用机场助航灯光监控系统技术要求》
(AC-137-CA-2019-08)

16) 《机场计算机助航灯光监视和控制系统规范》(FAA
150-5345/56)

17) 《机场目视助航设施设计和安装详述》(FAA
150/5340-30H)

18) 《机场灯光设备认证程序》(FAA 150/5345-53D)

19) 《跑道及滑行道灯具技术规范》(FAA
150/5345-46E)

20) 《跑道状态灯系统性能规范》(FAA E-3001)

21) 《跑道状态灯系统性能规范场面灯光系统》(FAA
E-3002)

22) 《跑道状态灯系统》(FAA EB (Engineering Brief)
-64d)

23) 《机场设计》(FAA 150/5300-13)

24) RWSL Research Management Plan, Version 2.0,
dated December 2002

25) RWSL Systems Requirements Document, Revision
2.3, dated February 21, 2002

26) Operational Concept Document for RWSL, dated Jan-
uary 29, 2002

27) RWSL Human Factors Study, v5.5c3 Runway En-

trance Light (REL) Configuration, dated May 21, 2003

28) FAA — STD 020b, Transient Protection, Grounding, Bonding and Shielding Requirements for Electronic Equipment, dated May 11, 1992

29) RWSL OpEval Plan, TBA

30) RWSL Human Factors Plan, TBA

31) NOTAMS, TBA

抄送：局领导，总飞行师、总工程师、安全总监。
航安办、飞标司、空管办。

民航局机场司

2022年9月13日印发
