

UDC

MH

中华人民共和国行业标准

P

MH/T 5087—2025

民用机场工程监测技术规范

Technical specifications for engineering monitoring of airport

2025-04-24 发布

2025-06-01 施行

中国民用航空局 发布

中华人民共和国行业标准

民用机场工程监测技术规范

Technical specifications for engineering monitoring of airport

MH/T 5087—2025

主编单位：民航机场规划设计研究总院有限公司

民航科研基地（北京）有限公司

参编单位：建设综合勘察研究设计院有限公司

中南大学

长安大学

中国民航大学

上海民航新时代机场设计研究院有限公司

福建兆翔机场建设有限公司

西北民航机场建设集团有限责任公司

批准部门：中国民用航空局

施行日期：2025年6月1日

中国民航出版社有限公司

2025 北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

民用机场工程监测技术规范/民航机场规划设计研究总院有限公司, 民航科研基地 (北京) 有限公司主编. —北京: 中国民航出版社有限公司, 2025. 5. — ISBN 978-7-5128-1450-9

I. TU248. 6-65

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024ZX4806 号

中华人民共和国行业标准

民用机场工程监测技术规范

MH/T 5087—2025

民航机场规划设计研究总院有限公司

民航科研基地 (北京) 有限公司

主编

责任编辑 韩景峰
出 版 中国民航出版社有限公司 (010) 64279457
地 址 北京市朝阳区十里河桥东中国民航报社二层 (100122)
排 版 中国民航出版社有限公司录排室
印 刷 北京金吉士印刷有限责任公司
发 行 中国民航出版社有限公司 (010) 64297307 64290477
开 本 880×1230 1/16
印 张 4.5
字 数 126 千字
版 次 2025 年 5 月第 1 版 2025 年 5 月第 1 次印刷

书 号 ISBN 978-7-5128-1450-9

定 价 48.00 元

官方微博 <http://weibo.com/phcaac>

淘宝网店 <https://shop142257812.taobao.com>

电子邮箱 phcaac@163.com

中国民用航空局 公告

2025 年第 5 号

中国民用航空局关于发布《民用机场工程 监测技术规范》的公告

现发布《民用机场工程监测技术规范》（MH/T 5087—2025），
自 2025 年 6 月 1 日起施行。

本标准由中国民用航空局机场司负责管理和解释，由中国
民航出版社出版发行。

中国民用航空局

2025 年 4 月 24 日

前 言

工程监测对于提高民航专业工程质量、指导科学管养、保障机场建设和运行安全具有重要意义。为了规范民用机场工程监测工作，统一监测技术要求，确保监测数据的准确性、可靠性和有效性，规范机场工程监测的技术标准，编制本规范。

本规范为首次编制的民用机场工程监测技术规范，在编制过程中，编制组进行了深入调研，总结吸收了多年来我国机场工程监测经验和研究成果，参考了国内外相关技术标准和资料，并广泛征求建设、运营等有关单位和专家的意见，经审查和修改后定稿。

本规范的主要技术内容包括 10 章，分别为总则、术语和符号、基本规定、地下水监测、地基与场地监测、边坡监测、飞行区建（构）筑物监测、施工影响监测、监测方法、监测成果与应用，另外还包括两个附录。

本规范第 1 章由马新岩编写，第 2 章由韩进宝编写，第 3 章由马新岩、韩进宝编写，第 4 章由周载阳、刘光庆编写，第 5 章由张合青、张印涛、吴彪、王锦华、韩进宝编写，第 6 章由周载阳、张印涛编写，第 7 章由滕启杰、戴鹏、张甲峰、惠冰编写，第 8 章由吴民晖、王锦华、程德金编写，第 9 章由张升、霍海峰编写，第 10 章由吴彪、余虔、张印涛编写，附录 A 由韩进宝、张升、霍海峰编写，附录 B 由韩进宝编写，统稿工作由马新岩、韩进宝完成。

本规范由主编单位负责日常管理。执行过程中如有意见和建议，请函告民航机场规划设计研究总院有限公司（地址：北京市朝阳区惠新东街甲 2 号住总地产大厦；邮编：100101；传真：010-64979430；电话：010-64922253；电子邮箱：zykjzlb@cacc.com.cn），以及民航工程建设标准化技术委员会秘书处或机场司工程监督处（网址：www.caecs.org.cn；电子邮箱：mhgcjsbwh@163.com），以便修订时参考。

主编单位：民航机场规划设计研究总院有限公司

民航科研基地（北京）有限公司

参编单位：建设综合勘察研究设计院有限公司

中南大学

长安大学

中国民航大学

上海民航新时代机场设计研究院有限公司

福建兆翔机场建设有限公司

西北民航机场建设集团有限责任公司

主 编：马新岩

参编人员：韩进宝 张合青 余 虔 张印涛 吴 彪 吴民晖 王锦华

戴 鹏 滕启杰 周载阳 张 升 惠 冰 霍海峰 张甲峰

刘光庆 程德金

主 审：沈小克 李 强

参审人员：郑 斐 吕 青 林 建 凌建明 高文生 张千里 徐 剑

孙增奎 贾治国 曹 承 斯碧峰 凌语珍 韩乙锋 李 翔

顾静涛 韩黎明 宋照尚 李世安 童 岩 董汇标

目次

1	总则	1
2	术语和符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	5
3	基本规定	6
4	地下水监测	8
5	地基与场地监测	10
5.1	一般规定	10
5.2	飞行区道面影响区地基监测	11
5.3	地下工程影响场地监测	14
5.4	通信导航与目视助航设施场地监测	14
5.5	飞行区建筑物场地监测	15
5.6	不良地质作用场地监测	16
6	边坡监测	17
6.1	一般规定	17
6.2	坡体监测	18
6.3	支挡结构监测	20
7	飞行区建（构）筑物监测	22
7.1	一般规定	22
7.2	道面监测	22
7.3	飞行区桥梁监测	24
7.4	飞行区下穿通道监测	26
7.5	飞行区建筑物监测	28
8	施工影响监测	29
8.1	一般规定	29
8.2	振动影响监测	29

8.3	暗挖施工影响监测	30
8.4	降水施工影响监测	32
9	监测方法	33
9.1	一般规定	33
9.2	变形与裂缝监测	34
9.3	应力应变监测	36
9.4	地下水土监测	36
9.5	振动监测	37
10	监测成果与应用	39
10.1	一般规定	39
10.2	监测数据整理与分析	39
10.3	监测预警	44
10.4	监测系统与监测数据平台	47
10.5	监测成果	50
附录 A	建设期和运营期监测项目	52
附录 B	常用监测方法及设备元器件	55
标准用词说明	57
引用标准名录	58

1 总 则

1.0.1 为适应民用机场建设发展的需要，提高民用机场关键设施、风险点位的监测能力与安全防护水平，规范民用机场的工程监测，保证监测质量，制定本规范。

【条文说明】工程监测的目的是及时掌握场地和建（构）筑物等监测对象的工作或服役状态，一是用于诊断，包括对监测对象安全性的判定、为不安全迹象和险情的诊断与处置提供依据、验证监测对象处于正常状态、验证设计参数以及对施工技术进行评估和改进；二是用于预测，通过监测资料掌握规律，对监测对象未来状态做出及时有效的预测；三是用于研究，监测资料是监测对象工作状态的真实反映，有助于深入了解变化机理，为改进设计、施工、运维提供依据。工程监测在建设期和运营期都有重要意义，为工程建设和运营维护管理提供重要依据。

基础设施相关行业普遍重视工程监测，水利、公路、铁路、建筑等行业制定了相关技术标准。民用机场作为国家重大公共基础设施和生命线工程，不仅是综合交通的重要组成部分，在应急救援和国防安全等方面也发挥着其他基础设施不可替代的重要作用。机场工程规模大、建设内容众多、建设界面复杂，机场建（构）筑物和周边环境等影响机场建设和运营，需要进行监测；大型机场建设过程中，下穿工程、飞行区地基处理工程、航站楼工程、空管工程、供油工程等不同建设内容之间存在诸多交互影响，给机场建设和运行造成安全隐患，也应进行监测。本规范填补了机场工程监测依据的空缺，并将民航行业标准中关于工程监测的零散内容进行系统整合，包括《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）对软土地基和高填方工程的工程监测规定；《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）在飞行区特殊性岩土、飞行区不良地质作用、专项设计中，根据设计需求对工程监测的简要规定；《民用机场高填方工程技术规范》（MH/T 5035）对高填方工程监测的简要规定等。

国内外曾有过大量因不重视工程监测而引发事故的案例，如山西襄汾尾矿库溃坝事故、美国塔科马海峡大桥坍塌事故等，机场也存在对工程监测不重视的情况。近年来，随着行业质量安全意识提高，以及工程监测技术的进步，部分机场开展了建设期的地基沉降、边坡稳定性监测，运营期的跑道性状监测等，积累了一定经验，但仍然存在不系统、不规范的问题，如：监测项目和监测点布置不合理，监测方法落后，仪器设备选型不当，数据分析缺乏针对性等。本规范着力通过技术手段提升机场基础设施监测水平，落实行业对安全管理模式向“全面覆盖、实时监控、智能分析、快速响应”转变的要求。

1.0.2 本规范适用于新建和改（扩）建民用运输机场（含军民合用机场民用部分）建设期和运营期的工程监测，通用机场工程监测可参照执行。

【条文说明】民用运输机场在建设期和运营期都有必要进行工程监测。长期以来，民用运输机场建设对工程监测重视不足，尤其是运营期的工程监测严重缺失，工程服役性能评价缺乏依据，在遭遇地震等自然灾害后，评价机场是否可继续正常运行时也缺少监测数据，所以本规范明确规定工程监测涵盖建设期和运营期。

本规范适用的工程监测对象主要是民航专业工程，非民航专业工程监测在本规范一般不作具体要求，非民航专业工程中可能引起民航专业工程及其场地安全或质量问题的，本规范也提出了必要的监测要求，如：下穿飞行区的轨道交通、高铁建设与运行可能引起机场场地变形，非民航专业工程的土建降水施工可能引起周边地面变形。另外需要说明，《民用机场填海工程技术规范》（MH/T 5060）对机场填海工程海堤、陆域形成、地基处理等施工期的监测和海堤运营期的监测进行了规定，这些监测内容不属于民航专业工程，不适用本规范，但填海机场建设期的民航专业工程监测和填海机场运营期的监测属于本规范适用范围。

1.0.3 机场工程监测应针对监测阶段、监测对象、工程特点、气候条件等编制相应的监测方案。监测实施应做好监测元器件或仪器设备的选型、安装和维护，及时开展数据采集、传输与处理分析，为动态设计、数智化施工和安全运营提供准确、可靠的监测成果。

1.0.4 民用机场工程监测除应符合本规范的规定外，尚应符合国家现行有关技术标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 工程监测 engineering monitoring

机场工程建设期及运营期，通过采用监测元器件和仪器设备对岩土体、地下水、工程结构以及周边环境安全状态进行观察和量测，并对其变化特征进行分析和反馈的活动。

【条文说明】了解监测对象的安全状态是工程监测的主要目的。不同监测对象的安全状态含义有所不同。机场工程的安全状态主要包括地基与场地的沉降和差异沉降、边坡及其支挡结构的稳定性、道面及其他建（构）筑物的服役状态等，也包括振动、暗挖、降水等施工时周边环境的安全状态。强夯、爆破等施工产生的噪音、粉尘一般不会引起周边建（构）筑物的安全问题，因此不属于本规范工程监测的范畴。

2.1.2 监测系统 monitoring system

监测数据采集与传输、存储与处理、分析与应用的软硬件及配套设施。

【条文说明】数据采集方式包括通过安装在现场的硬件设备采集、人工采集、卫星采集等。

2.1.3 监测数据平台 monitoring data platform

具备监测数据交换与融合、监测成果展示、数据分析与管理等功能的软硬件及配套设施。

【条文说明】监测数据平台与监测系统的概念不同。监测系统是指一整套相互关联、协同工作的组件和流程的集合，旨在实现监测功能。而监测数据平台更侧重于提供一个集中环境，可进行统一的数据展示、分析和管理的，可能整合了多个监测系统的数据。

2.1.4 监测项目 monitoring item

监测对象的工程特性指标，包括位移、地下水位、孔隙水压力、温度、湿度、振动、裂缝宽度、应力和应变等。

2.1.5 监测设施 monitoring facilities

安装在现场的监测设备及其配套设施。

【条文说明】监测设备通常是指用于获取、测量和记录监测数据的单个仪器或工具，例如传感器、调制解调仪等。监测设施则是一个更广泛的概念，不仅包括监测设备，而且涵盖供电设施、通信网络、防护装置以及相关的基础设施等保障其正常运行和有效工作的配套设施。

2.1.6 自动化监测 automatic monitoring

通过自动化设备、仪器和系统,实现监测数据的自动化采集、传输、处理和预警的监测方式。

2.1.7 监测对象 monitoring object

监测所针对的工程实体和周边环境,包括地下水、地基与场地、边坡、道面及其他建(构)筑物等。

2.1.8 监测点 monitoring point

直接或间接设置在监测对象上,能够反映监测对象力学、变形、环境等特征的观测点。

【条文说明】监测对象的安全状态是工程监测的主要目的。其中,监测对象的力学和变形特征是反映其安全状态的主要内容。力学特征主要包括应力、应变等,变形特征主要包括沉降、倾斜、水平位移等。

2.1.9 监测预警值 monitoring alert threshold

在监测控制值范围内,按一定规则计算或根据工程经验直接给定的警戒值。

【条文说明】在监测过程中,当监测数据达到或接近监测预警值时,需要发出预警信号,提示可能存在异常情况或潜在风险,此时情况可能尚未失控。其作用在于提前提醒相关单位注意,以便进行排查或者采取初步的防范与应对措施。监测预警值是针对工程具体情况设置的,不能简单机械处理,要根据具体情况进行分析,必要时还应调整。

2.1.10 监测频率 monitoring frequency

单位时间内的监测次数。

2.1.11 监测控制值 monitoring control values

为保证监测对象安全,针对各监测项目所设定的限值。

【条文说明】相较于监测预警值,监测控制值是一个更为严格的界限。当监测数据超出这个数值时,表明监测对象的工程性状已经超出了可接受的范围,必须立即采取有效的控制措施,以防止事态进一步恶化或造成严重后果。

2.1.12 地下工程影响区 under-passing engineering impact area

穿越飞行区的地下工程引起飞行区岩土体和建(构)筑物变形的区域。

【条文说明】地下工程主要包括综合管廊、下穿通道等飞行区范围内地下穿越或埋设的构筑物。机场中的地下工程有的属于民航专业工程,如汽车通道、捷运通道、行李通道等;有的不属于民航专业工程,如高铁、地铁等。民航专业工程的地下工程建设期和运营期的工程监测在本规范第7章和第8章中进行了规定。非民航专业工程的地下工程监测不属于本规范的适用范围,但是本规范对其可能引起民航专业工程的安全问题提出了必要的监测要求。其可能在施工期和运营期引起飞行区场地沉降,在本规范第5.3节作出了规定。

2.2 符号

B ——矿山法工程开挖宽度；

D ——盾构法工程开挖直径；

H ——填方高度；

L ——开挖面至监测点距离；

s ——墩台均匀总沉降量；

s_1 ——按《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027) 分层总和法计算的原地基沉降量；

s_2 ——预测的工后沉降量；

v_s ——竖向位移变化速率。

3 基本规定

3.0.1 工程监测应根据工程特点和建设运营需要，对地下水、地基与场地、边坡、飞行区建（构）筑物等进行监测，对于爆破施工、暗挖施工和降水施工等可能对周边建（构）筑物产生不利影响的施工，尚应对其产生的不利影响进行监测。

3.0.2 监测工作应不影响运输机场运行安全。

3.0.3 监测工作开展前，应结合工程的具体情况或监测设计要求制定监测方案，必要时应进行专门论证；工况发生变化时，应根据实际情况及时调整监测方案。监测方案制定应满足下列要求：

1 符合监测目的且有针对性，明确监测对象风险，对监测值进行预估。

2 建设期监测应与运营期监测统筹考虑。建设期监测方案应根据工程测量、勘察、设计资料及现场条件等制定，并宜兼顾运营期监测需求。

3 运营期监测方案应根据工程建设期资料、机场运行管理相关规定、既有监测和检测成果等制定。

4 监测项目的选择、监测点的布置位置和数量，应根据监测目的、风险识别、监测参数等确定，建设期和运营期的监测项目可按附录 A 选取。

【条文说明】 工程监测实施前先编制监测方案，监测方案的关键是要针对监测项目“量身定制”。在不同的监测项目里，监测对象的类型和布局、地质条件、周边设施、环境条件以及可能存在的风险各不相同，所以，监测方案要充分考虑监测项目的特征和需求，不能选择一种仪器或者照搬一个方案，先采集数据，然后再考虑如何处理监测数据，这样无法达到监测目的。

3.0.4 监测方案宜包括下列内容：

1 工程概况及工程风险点；

2 工程环境条件，主要包括工程地质条件、水文地质条件、周边环境条件及气候条件等；

3 监测目的与依据；

4 监测对象；

5 监测项目、基准点及监测点布置等要求；

6 监测方法与技术要求；

7 监测频率；

8 监测预警值、监测控制值及异常情况下监测措施；

- 9 监测成果形式、分析及反馈；
- 10 监测点布置图、监测及巡查记录要求等附件；
- 11 监测设备及人员配备；
- 12 监测的质量和安全管理措施。

3.0.5 监测方法的选择应满足下列要求：

- 1 监测方法应根据监测对象、监测阶段、监测需求及经验等因素综合确定，符合监测方案且合理易行；
- 2 监测方法不得影响工程结构的设计性能，且不影响工程建设期的实施进度和运营期的服役性能；
- 3 宜采用对施工和运营低干扰的自动化监测技术。

3.0.6 监测实施应满足下列要求：

- 1 建设期监测使用的平面坐标系统和高程系统应与运营期监测保持一致，建设期监测使用的基准点宜在运营期延续使用；
- 2 对监测设施做好保护，监测期间以及监测设备的维护、更换与升级应保证监测数据的连续性、有效性和完整性；
- 3 建设期应采取措施减少施工对监测设施的影响，运营期监测不得危及机场运行安全；
- 4 建设期的监测设施如需在运营期延续使用的，应在建设期做好保护。

3.0.7 监测出现下列情况时，应及时分析原因，增加监测频率或采取相应措施。

- 1 监测数据出现异常；
- 2 监测数据达到监测预警值；
- 3 地震、降雨等引起异常情况；
- 4 机场相关单位或航空公司报告异常情况；
- 5 其他异常情况。

3.0.8 当机场有多个监测系统时，宜接入统一建设的监测数据平台。

4 地下水监测

4.0.1 地下水监测宜贯穿建设期与运营期，建设期应对影响机场建设和周边安全的地下水进行监测，运营期应对影响机场运营安全的地下水进行监测。

4.0.2 地下水监测工作应制定监测方案，明确监测的范围、监测项目，确定监测点的位置、各监测点的监测内容及监测频率。

4.0.3 建设期地下水的监测内容宜包括地下水动态、影响地下工程施工的地下水位（头）、影响填方工程和边坡工程施工的地下水位及孔隙水压力、场区内泉水的流量、盲沟出水口的浑浊度等。

4.0.4 运营期地下水的监测内容可包括地下水动态、影响边坡稳定的地下水位及孔隙水压力、流入流出边坡的水量、盲沟出水口的浑浊度等。

4.0.5 地下水监测范围应涵盖工程建设区及有密切水力联系的相邻区域，根据需要可适当外扩。

4.0.6 地下水动态监测项目应根据工程需要确定，可包括地下水水位、流向、流速、水温、水质、地下水露头点的流量、孔隙水压力等。

4.0.7 地下水动态监测点的布置宜结合各阶段的勘察工作实施，也可根据需要专项实施。监测区内存在多个水文地质单元时应按水文地质单元分区布置，同一水文地质单元内至少应有 1 条水位监测线或 3 个水位监测点。

4.0.8 工程建设导致拟建场地地形地貌改变较大时，地下水监测方案制定应考虑工程建设可能引起水文地质条件变化的因素。

【条文说明】 机场建设涉及范围通常较大，当填挖高度大时，工程建设不仅对拟建场地地形地貌改变较大，同时也会改变拟建场地的水文地质条件，水文地质条件的改变反过来又会对机场建设和运营造成影响。

4.0.9 存在多层地下水需要分层监测时，地下水观测井成井过程中应采取有效隔水措施，隔断观测井中目标含水层与其他含水层的直接水力联系。

4.0.10 边坡工程地下水监测的范围应涵盖边坡稳定影响区，监测项目应包括含水层中的地下水位，必要时监测相对隔水层中的孔隙水压力、流入流出边坡的水量等。

4.0.11 基坑工程、暗挖工程应监测对工程安全有影响的地下水水位（头），基坑工程地下水监

测点宜布置在基坑周边，暗挖工程地下水监测点宜沿暗挖线路布置。

4.0.12 地下水监测频率可按下列规定执行，并考虑施工进度、地域及季节等因素适当调整：

- 1 地下水动态的监测频率，建设期宜为 1~15 天 1 次，运营期宜为每月 1 次；
- 2 施工期间基坑工程及暗挖工程的地下水监测频率宜为 3 天 1 次；
- 3 施工期间边坡工程地下水监测频率宜为 3 天 1 次，施工后及运营期边坡工程的地下水监测频率宜为每月 1 次；
- 4 建设期填海工程地下水位与潮水位的监测，应选择包含设计高水位、低水位的若干天进行连续监测，直至获得稳定的地下水位与潮水位关系；运营期潮水位宜通过收集资料获取；
- 5 有异常情况或暴雨过后应适当加密。

4.0.13 填海工程地下水位与潮水位的监测，应符合下列规定：

- 1 监测内容应包括陆域形成后地下水位与潮水位；
- 2 监测断面宜不少于 3 个，同一监测断面的监测点间距宜不大于 100 m。

【条文说明】 尽管填海工程不属于民航专业工程，然而填海机场地下水位与潮水位的关系对民航专业工程的建设和运营有着重要影响，此关系需要通过监测来获取。

5 地基与场地监测

5.1 一般规定

5.1.1 下列情况的地基与场地应进行监测：

- 1 对道面沉降或道面服役状态产生不利影响的特殊性岩土地基、填方地基及变形差异较大的地基；
- 2 存在对地基与场地稳定性有不利影响或可能诱发过大变形的地下工程；
- 3 产生沉降可能会影响设施设备正常运行的通信导航与目视助航设施场地；
- 4 存在影响场地稳定的不良地质作用。

【条文说明】条文中的服役状态指机场运营期间反映地基与场地工作或使用状态的指标，如工后沉降、工后差异沉降、地面坡度、承载能力等。特殊性岩土指具有特殊物质成分、结构和独特工程特性的岩土，包括软弱土、湿陷性土、膨胀岩土、盐渍土、冻土等；通信导航与目视助航设施场地指仪表着陆系统场地保护区、助航灯光设施场地；不良地质作用指由地球内力或外力产生的可能对工程造成危害的地质作用，包括岩溶、滑坡、地面沉降等。特殊性岩土地基、填方地基在工况荷载下会产生沉降，地下工程影响区地基易出现不均匀变形，不良地质作用可能影响场地稳定，进而导致道面产生病害、影响设施设备正常运行。通过监测，及时掌握地基与场地的工作或使用状态，保证工程质量与安全。

5.1.2 地基与场地的监测方案应根据地基条件、地下水条件、工程施工方案等确定。不同监测项目监测点的布置应便于数据关联分析，并能全面反映监测对象的整体状况。地层变化较大处、填挖交界处、填方区原地面坡度较大处、不同地基处理方法交界处宜布置监测点。

【条文说明】不同监测项目的监测数据分析时，需考虑其耦合关系，如沉降与地下水的关系、分层沉降与总沉降的关系，其监测点就近或在同一断面布置，是为了满足数据关联分析的需要。

5.1.3 地基与场地的监测时长应涵盖建设期并监测至地基与场地变形稳定；监测频率应先高后低；监测数据变化较大时，应提高监测频率；相互关联的监测项目，宜在同一时间段进行监测。沉降稳定后可减少监测频率，沉降对地基与场地无影响时可停止监测。

5.2 飞行区道面影响区地基监测

5.2.1 建设期和运营期飞行区道面影响区地基监测项目的选择应分别符合表 5.2.1-1 和表 5.2.1-2 的规定。地下水的监测应符合本规范第 4 章的规定。填海地基应根据原地基条件、填海工艺和填筑材料，参照软弱土地基确定监测项目，并宜利用填海工程监测成果。

表 5.2.1-1 建设期飞行区道面影响区地基监测项目

地基条件		监测项目				
		表面沉降	分层沉降	原地基沉降	孔隙水压力	地下水位
软弱土地基	$s_1 < 200 \text{ mm}$	○	—	—	—	—
	$200 \text{ mm} \leq s_1 < 500 \text{ mm}$	●	○	—	○	○
	$s_1 \geq 500 \text{ mm}$	●	○	—	●	○
填方地基	$H < 20 \text{ m}$	○	—	○	○	○
	$20 \text{ m} \leq H < 50 \text{ m}$	●	○	○	○	○
	$H \geq 50 \text{ m}$	●	●	○	○	○

注：1 s_1 为按《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027) 分层总和法计算的原地基沉降量， H 为填方高度。

2 ●为应测项目，○为选测项目，—为不测项目。

3 软弱土地基计算总沉降量大于 500 mm 且采用堆载预压工艺时，宜增加水平位移监测。

表 5.2.1-2 运营期飞行区道面影响区地基监测项目

预测沉降	监测项目	
	表面沉降	地下水位
$s_2 < 200 \text{ mm}$ 且 $i < 1\%$	○	—
$s_2 \geq 200 \text{ mm}$ 或 $i \geq 1\%$	●	○

注：1 s_2 为预测的工后沉降， i 为预测的工后差异沉降。

2 ●为应测项目，○为选测项目，—为不测项目。

【条文说明】填海机场建设一般可分为填海工程阶段和机场工程阶段，《民用机场填海工程技术规范》(MH/T 5060) 规定了填海工程阶段陆域形成、地基处理的监测要求，但不涉及机场工程跑道、滑行道、机坪等飞行区道面影响区监测。为满足机场工程要求，机场工程阶段飞行区道

面影响区地基还需按本规范进行建设期和运营期监测。考虑到填海地基一般属于软弱土地基，机场工程阶段可参照软弱土地基进行监测，并充分利用填海工程监测成果，以节约监测成本、提高监测数据的连续性。表 5.2.1-1 和表 5.2.1-2 中的表面沉降监测指布置于道基顶面或道面表面，用于了解填筑体及原地基沉降情况所开展的监测。

5.2.2 建设期地基表面沉降监测点布置除应满足本规范第 5.1.2 条的要求，尚应符合下列规定：

- 1 跑道和滑行道区域应沿中心线布置监测点；填方区内当垂直跑道方向原地面坡度较大时，应在道肩边线布置监测点；
- 2 机坪区域的监测点可按方格网布置；
- 3 监测点布置间距应符合表 5.2.2 的规定。

表 5.2.2 建设期地基表面沉降监测点布置间距

地基条件		监测点间距/m			
		跑道	滑行道	机坪	服务车道（非道面）
软弱土地基	$s_1 < 200 \text{ mm}$	100	100	100	—
	$200 \text{ mm} \leq s_1 < 500 \text{ mm}$	75	75	100	100
	$s_1 \geq 500 \text{ mm}$	50	50	75	75
填方地基	$H < 20 \text{ m}$	100	100	100	—
	$20 \text{ m} \leq H < 50 \text{ m}$	75	75	100	100
	$H \geq 50 \text{ m}$	50	50	75	75

注： s_1 为按《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027) 分层总和法计算的原地基沉降量， H 为填方高度。

5.2.3 建设期地基分层沉降监测点和原地基沉降监测点布置应符合下列规定：

- 1 分层沉降监测点布置时，其数量宜为需监测分层沉降区域内表面沉降监测点数量的5%~10%，且不少于2个；
- 2 原地基沉降监测点布置时，其数量宜为需监测原地基沉降区域内表面沉降监测点数量的5%~10%，且不少于2个；
- 3 分层沉降监测点和原地基沉降监测点应靠近表面沉降监测点布置，其平面分布应能反映监测区的沉降特征；
- 4 分层沉降标（环）宜沿垂直方向在代表性的地层和填筑体内均匀布置，埋设间距宜不大于5m，埋置深度宜至压缩层底，原地基内的地层分界线处宜布置分层沉降标（环）。

5.2.4 建设期地基孔隙水压力和地下水位监测点布置应符合下列规定：

- 1 孔隙水压力和地下水位监测点的平面分布应能反映地下水的特征；

2 黏性土层较厚时，可每隔 3 m~5 m 设一个监测点。

5.2.5 建设期监测应为道面及其他上部构筑物施工时机提供依据，用于判定道面施工时机的最小监测时长应满足沉降分析和预测的需要及设计要求，并符合表 5.2.5 的规定。

表 5.2.5 判定道面施工时机的最小监测时长

原地基条件	填方情况		最小监测时长/月
软弱土地基	土料及土质混合料	$s_1 > 200 \text{ mm}$ 或 $H = 10 \text{ m} \sim 30 \text{ m}$	6
		$H > 30 \text{ m}$	12
	石料、石质混合料、砾质混合料	$s_1 > 200 \text{ mm}$ 或 $H = 10 \text{ m} \sim 30 \text{ m}$	5
		$H > 30 \text{ m}$	8
非软弱土地基	土料及土质混合料	$H = 10 \text{ m} \sim 30 \text{ m}$	5
		$H > 30 \text{ m}$	8
	石料、石质混合料、砾质混合料	$H = 10 \text{ m} \sim 30 \text{ m}$	3
		$H > 30 \text{ m}$	6

注：1 s_1 为按《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）分层总和法计算的原地基沉降量， H 为填方高度。

2 软弱土地基进行复合地基处理后可按照非软弱土地基考虑。

3 填方地基下部存在软弱土时，取软弱土地基和填方地基二者的较大值。

4 表中填料分类应符合《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）和《民用机场高填方工程技术规范》（MH/T 5035）的规定。

5.2.6 当飞行区道面影响区存在湿陷性土、盐渍土、膨胀岩土和冻土地基时，运营期监测还应符合下列规定：

- 1 湿陷性土地基应监测地基沉降和地下水位；
- 2 盐渍土地基应监测含水率和地温，需要时应监测含盐量；
- 3 膨胀土地基应监测地基隆起和含水率；
- 4 冻土地基应监测地温、冻胀和融沉，地温监测深度应至非冻土层内 2 m~3 m。

5.2.7 运营期监测点宜靠近建设期的监测点布置，地基表面沉降监测应根据建设期沉降监测成果进行布置并应能反映沉降特征，机场标高位置、机场基准点、跑道接地带和跑道与滑行道连接处应布置监测点。运营期监测宜采用自动化监测技术。

【条文说明】机场标高是指机场可用跑道中最高点的标高。机场基准点是表示机场地理位置的指定点，可位于机场一条现有跑道的几何中心，首次确定后一般保持不变。跑道接地带是指供着陆飞机越过跑道入口后，最早接触的那部分跑道。

5.2.8 建设期地基监测频率应符合下列规定：

- 1 地基处理和土石方施工期间每周应至少监测 1 次，土石方填筑较快时，每填筑 2 m~4 m

应监测 1 次；

- 2 地基处理、土石方施工完工至道面施工前，每周应至少监测 1 次；
- 3 道面施工完成后，每 2 周应至少监测 1 次。

5.2.9 运营期地基监测宜第 1 年每个月监测 1 次，第 2 年每 3 个月监测 1 次，第 3 年每 6 个月监测 1 次，以后每年至少 1 次。

5.3 地下工程影响场地监测

5.3.1 明挖法基坑回填区位于飞行区道面影响区时，回填至道基顶面后应进行地表沉降和土体分层沉降监测，监测点布置及监测频率应符合下列规定：

- 1 应垂直于基坑轴线方向布置横向监测断面，每个横向监测断面监测点数量宜不少于 5 个；
- 2 横向监测断面的间距宜不大于 50 m；
- 3 监测频率可参照本规范第 5.2 节确定。

5.3.2 地下工程采用暗挖法施工时，其影响区域的场地监测应符合本规范第 8.3 节的规定。

5.3.3 运营期应对地下工程影响区场地表面沉降和水平位移进行监测，监测点应根据地质条件、下穿工程埋深、施工工法和监测对象需要布置。

5.3.4 运营期地下工程影响区场地宜每 6 个月监测 1 次，若在监测期间发现异常或其他特殊情况，应提高监测频率。

5.4 通信导航与目视助航设施场地监测

5.4.1 软土地基或高填方地基的场地，运营期应对通信导航场地保护区进行表面沉降监测，并对目视助航设施场地进行表面沉降监测和水平位移监测。

5.4.2 运营期通信导航场地保护区表面沉降监测点布置应满足下列要求：

- 1 航向信标台场地保护区监测点宜沿跑道端与天线之间及垂直方向布置，下滑信标台保护区监测点可按方格网布置；
- 2 原地基地形条件复杂区域应布置监测点；
- 3 监测点间距应满足保护区坡度变化监测需求。

【条文说明】 通信导航场地保护区是指仪表着陆系统航向信标天线和下滑信标天线附近的一个规定区域，该区域是形成稳定可靠导航信号的关键区域，行业标准对其地面坡度、平整度及障碍

物等进行了规定。《民用航空通信导航监视台（站）设置场地规范》（MH/T 4003.1—2021）规定，航向信标台场地保护区场地应平坦，跑道端与天线之间的纵向坡度和横向坡度均应在 $\pm 1\%$ 之间，并应平缓过渡；下滑信标台的场地保护区 A 区内纵向坡度与跑道坡度相同，横向坡度应不大于 $\pm 1\%$ ，并平整到 ± 40 mm 的高差范围内；B 区地面应尽可能平坦；C 区内地形坡度应不超过 15%。

5.4.3 运营期填方区目视助航设施场地表面沉降和水平位移监测点应布置在 PAPI 灯基础边部，数量宜不少于 3 个。

【条文说明】PAPI 全称为 Precision Approach Path Indicator，即精密进近航道指示器，是一种用于指引飞行员保持在正确下滑道上的视觉辅助工具。根据《民用机场助航灯光系统运行维护规程》（AP-140-CA-2009-1），机场运营期每年均应对每台 PAPI 灯具基础是否出现位移或沉降进行检查。对 PAPI 灯所在的填方地基进行变形监测，有助于判定灯具变形是否由于场地变形引起，并根据场地变形预测灯具的变形规律。

5.4.4 机场运营期通信导航场地保护区、目视助航设施场地的监测频率应符合下列规定：

- 1 通信导航场地保护区监测频率应结合校飞周期确定，且每年至少监测 2 次；
- 2 目视助航设施场地宜每 6 个月监测 1 次。

5.5 飞行区建筑物场地监测

5.5.1 符合下列条件时，飞行区建筑物基础施工前应对场地进行表面沉降监测：

- 1 采用浅基础时，地基填方高度大于 10 m；
- 2 受邻近深基坑开挖和地铁、高铁盾构施工影响，或受场地地下水等环境因素变化影响的建筑；
- 3 其他复杂地基条件需进行监测的。

5.5.2 建筑物场地监测应符合下列规定：

- 1 监测点布置应结合建筑结构、形状和场地地质条件，并统筹考虑施工期和竣工后的监测需求；
- 2 监测点应覆盖建（构）筑物及周边影响范围；
- 3 建设期监测频率宜为每周至少 1 次，运营期监测频率应符合设计要求；
- 4 监测时长应满足变形预测的需要，当预测的变形指标满足建（构）筑物允许值时停止监测。

5.6 不良地质作用场地监测

5.6.1 运营期的岩溶场地监测应满足下列要求：

1 对厅堂式溶洞或大型溶洞、溶蚀破碎带，应在其上方布置表面沉降监测点，监测频率应根据岩溶发育情况、上部建（构）筑物建设规模确定；

2 地下暗河应监测地下水位（头），地下水丰富的岩溶场地应对地下水水位、流向、流速等开展监测，监测频率应符合本规范第4章的规定。

5.6.2 建设期和运营期的滑坡场地监测应满足下列要求：

1 监测项目应包括不同深度岩土体横向水平位移、地下水、孔隙水压力、裂缝、结构内力等；

2 地下水的监测宜包括滑体范围内的地下水水位、流向、流速、流量、孔隙水压力等；

3 滑坡遥感监测应覆盖已发生滑坡与潜在滑坡的范围，并宜与地面监测相结合；

4 应定时、定点监测点与点之间的相对位移或裂缝变化；

5 监测点间距与监测频率应视滑体规模、滑带深度等因素确定，地下水监测点的布置与监测频率应符合本规范第4章的规定。

【条文说明】裂缝变化是指裂缝张开、闭合、沉降、抬升、错动等。

5.6.3 建设期和运营期的地面沉降场地监测应满足下列要求：

1 监测范围应覆盖机场受地面沉降影响的范围；

2 监测项目应以表面沉降为主，可包括地下水监测；

3 监测方法可采用精密水准测量、全球卫星导航系统（GNSS）测量、干涉合成孔径雷达（InSAR）测量等技术手段；

4 监测频率应根据所选用的技术手段、工程重要性等综合确定。

【条文说明】条文所述地面沉降是指较大范围的地面沉降，一般在100 km²以上，沉降原因一般是由于常年抽吸地下水引起水位或水压下降，年沉降量达到几十至几百毫米，持续时间一般为几年到几十年。

6 边坡监测

6.1 一般规定

6.1.1 符合下列条件的边坡应进行监测：

- 1 高度达到或超过 20 m 的边坡；
- 2 高度 5 m~20 m，存在不良地质作用、位于地质灾害多发区的土质边坡；
- 3 高度 5 m~20 m，坡率陡于 1：2，存在外倾软弱结构面的岩质边坡；
- 4 在建设期和运营期曾发生过滑坡、崩塌灾害的边坡，以及周边存在重要设施的边坡。

【条文说明】条文的边坡包括土质边坡和岩质边坡。比照超过一定规模的危大工程中基坑的规定，对于高度超过 5 m 的边坡进行监测。条文中岩质边坡一般为挖方边坡，通常情况下坡率缓于 1：2 的岩质边坡稳定性较好，但存在外倾软弱层时往往边坡稳定性差，此时边坡监测工作格外重要。地质灾害多发区主要包括地壳运动活跃、地震活动频繁的区域，以及多雨地区等。

以前对边坡监测的时长缺乏规定，建设期一般会对边坡进行监测，并持续到工程完成且变形稳定后几个月到数年。但是，很多边坡失稳的案例表明，边坡在完工后一段时间内保持稳定，后续仍可能因为连续降雨、地震、地下水位变化、荷载变化、潜在软弱夹层蠕变、岩土体应力松弛等因素导致失稳，如：国内华南地区某高速公路填方路基边坡，2014 年 12 月通车，2024 年 5 月发生路基边坡塌方，灾害发生前，连续降雨；国内西南地区某机场 2003 年 12 月建成通航，2011 年 6 月因发生大规模滑坡被迫关闭；美国 Yeager 机场 2007 年建成，2015 年 3 月加筋土边坡发生滑坡。因此，有必要在运营期对边坡进行持续监测。目前广泛采用的自动化监测技术可以方便地实现运营期长期监测。

6.1.2 边坡监测方案应根据地质条件、边坡类型、支挡结构形式等制定，监测结果应能反映坡体及支挡结构的安全状态。监测断面布置应能反映边坡的实际状态及变化趋势，测线位置、间距和监测点布置应考虑边坡长度、高度、坡度、地质条件、支挡结构以及周边设施等因素。

6.1.3 边坡监测项目的选取和监测点的布置应针对边坡的关键部位和危险区域，且各监测成果应能形成互为补充、互相验证的监测体系，不同监测项目的监测点宜布置在同一监测断面上。

6.1.4 边坡监测应采用仪器测量与现场巡视检查相结合的方式进行。监测数据应连续、有效、完整。

6.2 坡体监测

6.2.1 建设期和运营期的坡体监测项目应满足下列要求：

- 1 主要监测项目应包括坡面竖向和水平位移、降雨量；
- 2 软弱土地基的填方坡体应增加软弱土地基孔隙水压力监测和深层水平位移监测；
- 3 冻土地基坡率陡于 1 : 1.75 或边坡高度大于 4 m 的挖方边坡，应增加地温监测；
- 4 水文地质条件复杂时，宜增加地下水和流量监测；
- 5 高填方坡体宜增加深层水平位移监测；
- 6 坡体出现裂缝时，应进行裂缝监测；
- 7 多雨地区可进行坡体含水率监测。

6.2.2 加筋土边坡和加筋土挡墙监测项目除应符合本规范第 6.2.1 条的规定外，尚应符合表 6.2.2 的规定。

表 6.2.2 加筋土边坡和加筋土挡墙监测项目

监测阶段	监测项目					
	墙面水平位移	墙面竖向位移	墙面倾斜度	水平土压力	基底土压力	筋材应变
建设期	●	●	●	●	○	○
运营期	●	●	●	○	○	○

注：●为应测项目，○为选测项目。

【条文说明】根据加筋形式和坡率，加筋土结构可分为加筋土边坡和加筋土挡墙。

6.2.3 坡（墙）面竖向位移、坡（墙）面水平位移、墙面倾斜度监测点布置应符合下列规定：

- 1 监测断面应沿垂直坡顶线方向布置监测断面，监测断面的间距应根据边坡地基条件、边坡高度和坡率、边坡岩土性质等确定；
- 2 每一典型边坡应至少布置一条监测断面，冲沟地形最低处的填方边坡、填方边坡坡脚存在重要设施、抗震不利地段等处应布置监测断面；
- 3 每个监测断面的监测点布置应反映边坡变形特征，可在坡顶、坡面、坡脚处布置，必要时可在坡顶内侧和坡脚外侧增加布置，坡面的监测点可布置在马道上，并应避开上级边坡坡脚不小于 0.5 m，竖向间距可为 10 m~30 m，每个监测断面的最不利位置应布置监测点。

6.2.4 深层水平位移监测点孔深应至最不利滑动面以下 5 m。边坡变形过大无法继续监测时，

应重新就近布置监测点继续监测。

6.2.5 边坡地下水监测和流量监测的监测内容与监测点布置，应根据地质条件和工程特点确定，并满足下列要求：

- 1 监测内容应包括水位、水量、浑浊度；
- 2 原地基监测点应布置在泉点、井点、盲沟出水口、重点沟谷等处；
- 3 建设期填筑体监测点应沿主监测断面布置在填筑体内排水层、排水盲沟中下部、土料与石料分层时的土料顶部。运营期填筑体监测点应布置在填筑体盲沟出水口处。

6.2.6 水平土压力监测点、基底土压力监测点及筋材应变监测点应根据加筋土挡墙高度、筋材竖向分布等布置在不利位置处。

6.2.7 裂缝监测点应布置在裂缝的首末端及最宽处，监测内容应包括裂缝位置、走向、长度、宽度、深度以及裂缝变化情况等。

6.2.8 监测期间应对坡体、临近建（构）筑物、监测点等进行现场巡视检查，检查宜包括下列内容：

- 1 边坡有无变形、裂缝、坍塌、冲刷、鼓起等；
- 2 地表地下水出露点、水量，盲沟出水口水质有无浑浊等；
- 3 排水设施是否完好、通畅情况等；
- 4 邻近建（构）筑物、地表有无变形、裂缝情况等；
- 5 基准点、监测点、监测设备的完好状况与保护情况，有无影响监测工作的障碍物等；
- 6 施工期间还应检查边坡周边堆载或超载情况，分层开挖或填筑暴露时间，边坡周边是否有积水等。

6.2.9 现场巡视检查频率应根据施工情况、环境条件确定，并符合下列规定：

- 1 建设期宜每周巡查 1 次；
- 2 运营期宜每 3~6 个月巡查 1 次；
- 3 暴雨后或变形异常时应增加巡查频次。

6.2.10 建设期和运营期坡体监测的监测频率应符合下列规定：

- 1 边坡施工期间应每周至少监测 1 次，当填挖速度较快时，每形成一级边坡均应监测 1 次；
- 2 边坡施工完工后至运营前，第 1 个月内宜每周监测 1 次，以后宜每半个月监测 1 次；
- 3 运营期前 6 个月应每月监测 1 次，以后每 3~6 个月应监测 1 次且每年雨季应至少监测 1 次，在暴雨后或出现异常时应增加监测；
- 4 填挖方边坡采用支挡结构时，坡体的监测频率应符合本规范第 6.3 节的规定；
- 5 采用自动化监测技术时，可每天采集监测数据，或根据监测设备性能提高监测数据采集频率。

6.3 支挡结构监测

6.3.1 边坡支挡结构监测项目应根据结构形式按表 6.3.1 确定。

表 6.3.1 支挡结构监测项目

结构形式	各阶段监测项目		
	施工期	竣工后至投运	运营期
重力式挡土墙	墙趾部位的水平位移和竖向位移	挡土墙顶部的水平位移和竖向位移	挡土墙顶部的水平位移和竖向位移
桩板式挡土墙、扶壁式挡土墙、排桩	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位移、深层水平位移 ^a	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位移、深层水平位移 ^a	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位移、深层水平位移 ^a
锚杆	锚杆轴力	锚杆轴力	锚杆轴力

注：a 为选测项目。

6.3.2 边坡支挡结构的水平位移和竖向位移监测点的水平间距宜不大于 30 m，且每段边坡范围内监测点的数量应不少于 3 个。监测边坡支挡结构深层水平位移时，每段边坡的监测点数量宜不少于 3 个。

6.3.3 预应力锚杆轴力监测断面的平面位置应选择在设计计算受力较大且有代表性的位置。相同设计参数锚杆的内力监测点数量应不少于该组锚杆总数的 1%，且应不少于 3 根。各层锚杆轴力监测点位置在竖向上宜保持一致。

6.3.4 采用测斜仪监测边坡支挡结构深层水平位移时，测斜管应埋设在支挡结构内，深度宜与支挡结构入土深度相同。深层水平位移测量方向应平行于支挡结构横断面方向。

6.3.5 支挡结构巡视检查宜包括下列内容：

- 1 有无变形、受损、渗漏等情况；
- 2 排水设施的完好、通畅情况等；
- 3 支挡结构上布置的监测点、监测设备的完好状况与保护情况。

6.3.6 建设期和运营期边坡支挡结构的监测频率应符合下列规定：

- 1 施工期间边坡支挡结构的监测频率宜不小于每 2~3 天 1 次，可根据施工进度适当调整，出现异常情况时应适当提高；
- 2 边坡工程竣工后至投运，应继续监测，监测频率宜不小于每月 1 次；

3 运营期监测频率前 6 个月应不小于每月 1 次，以后应不小于每 3~6 个月 1 次且每年雨季应至少监测 1 次；在暴雨后或出现异常情况时应增加监测；

4 采用自动化监测技术时，可根据监测设备性能提高监测数据采集的频率。

7 飞行区建（构）筑物监测

7.1 一般规定

- 7.1.1** 飞行区建（构）筑物监测对象应包括道面、飞行区桥梁、下穿通道、建筑物等。
- 7.1.2** 监测方案应明确监测目的，并结合工程结构特点、施工工法、地质条件、现场及周边环境条件等因素制定。
- 7.1.3** 下列工程结构的监测方案应进行专门论证：
- 1 结构型式复杂的桥梁结构；
 - 2 发生严重事故，经检测、处理与评估后恢复施工或使用的工程结构；
 - 3 监测方案复杂或其他需要论证的工程结构。
- 7.1.4** 飞行区建（构）筑物监测点的数量应根据建（构）筑物的规模、结构形式和监测目的等确定。监测点的布置应具有代表性，能够反映建（构）筑物的整体结构状态和关键部位的变化情况。监测方法宜采用自动化监测方法。
- 7.1.5** 飞行区建（构）筑物监测数据达到稳定标准且符合设计要求时，可终止监测。

7.2 道面监测

- 7.2.1** 存在下列情况时，运营期宜进行道面监测：
- 1 地基条件复杂，如高填方地基、软土地基、膨胀土地基等；
 - 2 道面下存在下穿通道、建筑物、管线等可能影响道面结构安全的设施；
 - 3 处于多年冰冻、季节冻融、极端高温、强降雨频发等气候条件复杂的地区；
 - 4 运营负荷发生显著变化，可能对道面结构产生较大影响的情况；
 - 5 其他经评估需要监测的情况。
- 7.2.2** 运营期道面监测项目应根据航空交通量和工程特点确定，并符合表 7.2.2 的规定。可根据需要增加其他有利于判断道面和道基使用状态的监测项目。

表 7.2.2 道面监测项目

航空交通量等级	道面监测项目		
	道面结构应变	道面结构温度	道面结构振动
特重、重	●	●	●
中	○	○	○
轻、特轻	—	—	—

注：1 表中航空交通量等级定义如下：“特重”指运行有 E 类机型且单条跑道结构设计年限内 C 类及以上机型的年平均运行架次超过 100 000，“重”指单条跑道结构设计年限内 C 类及以上机型的年平均运行架次为 50 000~100 000，“中”指运行 C 类及以下机型且单条跑道结构设计年限内 C 类机型的年平均运行架次不大于 50 000，“轻”指运行 B 类及以下机型，“特轻”指仅运行 A 类机型。

2 ●为必测项目，○为选测项目，—为不测项目。

【条文说明】运营期道面监测关注的是环境（温度）、外部作用（荷载）、服役结构性能（无飞机荷载时静态监测、有飞机荷载时动态监测）及状态（道面全域沉降、道基沉降、道基水分富集）等。道面监测是采用传感设备与通信技术，通过远程网络平台智能控制，实现运营期道面工程结构内部状态数据的实时自动采集、传输、储存、处理、分析、显示、报警等功能的活动。道面沉降一般由地基沉降引起，地基沉降监测在本规范第 5.2 节进行了规定。道面检测和监测有区别，是根据实际使用情况定期开展道面各项使用性能的测试与评价，按照《民用机场道面现场测试规程》（MH/T 5110）及《民用机场道面评价管理技术规范》（MH/T 5024）实施。长期、实时、准确的道面监测数据是定期检测数据的有益补充，是道面性能科学评价与分析的必要前提，是道面管理数字化、精细化和智能化的重要举措。

另外，可以结合机坪道面的监测对机坪上的加油栓井、高点放气井、低点放水井、测漏检查井、阴极保护井等供油工程井体采取相应措施，防止因道面热胀冷缩给其带来影响。

7.2.3 运营期采用传感器进行道面监测的，应根据监测要求确定传感器类型、埋设方式和传感器相关参数，传感器应在建设期埋设。

7.2.4 道面监测断面宜布置在跑道的起飞、着陆、转向等区域。对于地基填挖交界处、新旧道面交界处、下穿结构物位置以及沟槽回填区域的道面宜增设监测点。

7.2.5 道面监测可采用点式、断面式或分布式监测设备，通过预埋设法、钻孔埋设法等方式进行埋设，应采用自动化监测技术，并实现数据实时采集和分析。

7.2.6 道面结构应变监测时，点式监测设备宜埋设于道面板的板角或边缘部位；断面式监测设备宜埋设于关键应力区域；分布式监测设备适用于大范围应变监测。静态应变监测设备的采集频率应不低于 5 Hz，动态应变监测设备的采集频率应不低于 50 Hz，静动态应变监测设备量程应

不低于 1 500 $\mu\epsilon$ ，精度应不低于 5 $\mu\epsilon$ 。

【条文说明】飞机荷载作用或环境作用下的道面竖向变形量监测，通常通过监测道面结构应变来实现。

7.2.7 道面结构温度监测宜采用点式监测设备，监测点宜埋设在道面板中性面或距板底 50 mm 处；断面式和分布式设备宜用于连续温度监测场景。采集频率应不低于 5 Hz，量程应满足 $-50^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 范围，精度应不低于 0.1 $^{\circ}\text{C}$ 。

7.2.8 当采用振动光纤监测设备时，道面结构振动监测断面宜垂直于道面中线布置，间距应不大于 1 m，采集频率应不低于 1 500 Hz，精度应不低于 100 μg 。

7.2.9 道面结构应变、结构相对位移以及温度梯度监测频率宜不少于每天 3 次，道面结构振动监测频率宜为每架次 1 次。当环境条件波动较大或运营条件发生显著变化时，应适当提高监测频率。

7.2.10 监测传感器埋设完成后，应立即进行检查测试，并逐日测量，直至读数稳定为止，以稳定的读数作为初始读数，监测过程应保证监测数据的连续性、有效性和完整性。

7.3 飞行区桥梁监测

7.3.1 飞行区桥梁在施工期间的基坑监测应符合《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497) 的规定。

7.3.2 运营期飞机荷载桥梁监测应符合《民用机场飞机荷载桥梁结构监测技术规范》(MH/T 5088) 的规定。

【条文说明】本规范规定了服务车道桥梁的监测要求，飞机荷载桥梁的监测在《民用机场飞机荷载桥梁结构监测技术规范》(MH/T 5088) 中进行了规定。

7.3.3 符合下列情况的飞行区服务车道桥梁，运营期宜进行监测：

- 1 有典型结构性病害加固历史的桥梁；
- 2 技术状况等级为 3 类及 3 类以上且需要跟踪监测的在役桥梁，技术状况等级可参照《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21) 确定；
- 3 重载交通持续或周期性通行的重要桥梁；
- 4 其他经评估需要监测的桥梁。

【条文说明】根据《民用机场飞机荷载桥梁设计指南》(MH/T 5063)，民用机场桥梁分为汽车荷载桥梁和飞机荷载桥梁两大类。

7.3.4 飞行区服务车道桥梁监测方案应根据桥梁结构形式、上部结构材料性质、所处环境特

点、荷载特性等因素确定。

7.3.5 飞行区服务车道桥梁监测项目宜包括环境、荷载作用、结构响应、结构变化，并应符合表 7.3.5 的规定。

表 7.3.5 飞行区服务车道桥梁监测项目及采样频率

监测类别		监测项目	监测选项	采样频率
环境	温度	环境温度	●	1/600 Hz
		构件温度	○	1/600 Hz
	湿度	环境湿度	○	1/600 Hz
作用	车辆荷载	行驶速度	○	触发采集
		所有车道车流量	○	触发采集
		所有车道车辆空间分布 视频图像	●	连续监测 视频：25FPS
	地震	桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度及以上)	●	触发采集，50 Hz
桥墩底部加速度 (抗震设防烈度为Ⅶ度以下)		○		
结构 响应	位移/变形	主梁关键截面挠度	●	≥5 Hz
		梁端纵向、横向位移	○	1 Hz
		支座位移	○	1 Hz
	动力特性	主梁竖向振动加速度	○	关注动态响应最大频率的 8~20 倍
		主梁纵向振动加速度	○	
	应变	主梁关键截面应变	●	≥10 Hz
	裂缝	结构裂缝	●	动态：10 Hz 静态：1/3 600 Hz 图像：每周 1 次
支座	反力	○	1 Hz	
结构 变化	腐蚀介质	氯离子含量	○	在线：1/600 Hz 离线：每年 1~2 次
		墩身、承台混凝土侵蚀深度	○	
	墩台沉降	墩台竖向位移	○	在线：1/600 Hz 离线：每年 1~2 次

注：1 ●为宜测项目，○为选测项目。

2 监测方法应采用自动化监测技术。

7.3.6 飞行区服务车道桥梁监测点布置应满足下列要求，并符合表 7.3.6 的规定：

- 1 应选择受力不利、技术状况较差的代表性桥跨或断面进行监测；

- 2 多梁（肋）式结构应选择结构横向受力不利、横向联系薄弱、荷载轮迹带位置附近的构件进行监测；
- 3 主梁振动监测点应根据结构振型确定，宜布置在振型峰值点处，避开振型节点；
- 4 温湿度监测点应布置在桥面或桥下、温湿度变化大或对结构影响大的位置。

表 7.3.6 飞行区服务车道桥梁常见桥型监测截面及内容

桥型	位置		计算荷载工况	关键截面	监测内容
简支梁桥	跨中		主梁最大正弯矩	跨中	挠度、应变、振动加速度
	支点附近		主梁最大剪力	靠近支点 $h/2$	支点斜截面主应变、支点沉降
	全桥				结构裂缝
其他桥型	主跨跨中		主梁最大正弯矩	最大正弯矩	挠度、应变、振动加速度
	主跨（中）支点		主梁最大负弯矩	最大负弯矩	斜截面主应变、支座反力、支点沉降
	边跨主梁		主梁最大正弯矩	最大正弯矩	挠度、应变、振动加速度
	连续梁桥	边跨支点	最大位移	边跨支点	梁端纵向、横向位移；支点沉降
	连续刚构	边跨墩顶	最大位移	边跨墩顶	纵桥向水平变位、墩身控制截面应变；支点沉降
	闭合框架	中、边墙顶	最大负弯矩	中、边墙顶	应变、支点沉降
	主跨、边跨近 1/4 和 3/4 截面（增设）		截面最大正弯矩	近 1/4 和 3/4 截面	挠度、应变
全桥				结构裂缝	

注：h 为梁高。

7.3.7 飞行区服务车道桥梁毗邻轨道工程时应进行墩台沉降和倾斜监测，监测点宜布置在桥墩顶部，数量根据墩台形式确定。

【条文说明】毗邻轨道工程的工况是指轨道工程下穿、共构或者距离服务车道桥梁结构外边线 30 m 范围内。

7.4 飞行区下穿通道监测

7.4.1 飞行区下穿通道在建设期应进行监测，在运营期宜进行监测。

7.4.2 飞行区下穿通道监测项目应满足下列要求，并符合表 7.4.2 的规定：

- 1 明挖法施工的基坑监测应参照《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497）；
- 2 盾构法隧道施工监测可参照《盾构法隧道施工及验收规范》（GB 50446）；
- 3 可根据需要增加其他有利于判断下穿通道工程性状的监测项目。

表 7.4.2 下穿通道监测项目

监测阶段	施工工法	监测项目					
		竖向位移	水平位移	净空收敛	洞口地表位移	结构内力	围岩压力
建设期	明挖法	—	—	—	—	—	—
	暗挖法	●	○	●	○	○	○
运营期	明挖法	●	○	○	○	○	○
	暗挖法	●	○	●	○	○	○

注：●为必测项目，○为选测项目，—为不测项目。

7.4.3 下穿通道监测点布置应符合表 7.4.3 的规定。

表 7.4.3 下穿通道监测断面及监测点布置要求

监测项目	监测断面间距	监测点布置
竖向位移	5 m~20 m	顶板/拱顶至少 1 处
水平位移		顶板、承重侧壁
净空收敛		水平向至少 1 条测线
洞口地表位移		洞顶至少 1 条测线

注：1 位于跑道、滑行道、机坪、导航建（构）筑物、航油管线等区域时监测断面间距取小值，位于土面区时监测断面间距取大值。

2 处于填挖交界面、地面坡度突变、地下水位较高、存在偏压、断面变化较大、变形较大、荷载突变及地质条件突变地段时，监测断面间距取小值。

7.4.4 下穿通道工程结构受力监测点应根据结构设计受力特点进行布置，监测点宜布置在顶板、侧壁、底板等结构部位。

7.4.5 下穿通道工程结构围岩压力监测点应选择各边中间部位、接缝部位、水土压力较大部位、地面荷载较大部位、变形较大部位、受力条件复杂部位、承重侧壁受力较大的部位。

7.4.6 建设期下穿通道监测频率应为每天监测 1 至 2 次，稳定后可适当减小监测频率。

7.4.7 运营期下穿通道监测频率宜为第 1 年每季度监测 1 次，第 2 年每半年监测 1 次，以后每年监测 1 次。

7.5 飞行区建筑物监测

7.5.1 飞行区单体建筑存在或出现下列情况时，应参照《建筑变形测量规范》(JGJ 8) 进行监测：

- 1 采用浅基础时，地基填方高度大于 10 m；
- 2 受邻近深基坑开挖和下穿工程盾构施工影响或受场地地下水等环境因素变化影响的建筑；
- 3 建筑出现受力裂缝时；
- 4 建筑场地出现不稳定问题。

7.5.2 飞行区建筑物在施工期间的基坑监测应符合《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497) 的规定。

8 施工影响监测

8.1 一般规定

8.1.1 当进行对机场内建（构）筑物及设施产生不利影响的强夯、爆破、降水、暗挖等施工活动时，应对施工影响对象的安全或工作状态进行监测。

8.1.2 施工影响监测应依据下列资料编制监测方案：

- 1 岩土工程勘察报告、地形图；
- 2 施工影响区域内的建筑、道面、管沟、导航台站、助航灯光等的平面分布、结构类型、基础埋深、材质、使用情况等资料；
- 3 施工影响来源的设计资料、施工方案和施工组织设计。

8.1.3 监测点布置不应妨碍监测对象的正常使用。

8.1.4 振动、降水等施工影响监测应覆盖施工影响范围和施工影响的全过程。

【条文说明】降水影响不仅存在于降水施工期，还存在于地下水恢复期，因此，降水施工影响的监测时间包括降水施工期和地下水恢复期。

8.2 振动影响监测

8.2.1 当工程采用爆破、强夯、强夯置换、冲击碾压及桩基施工等振动影响较大的工艺，且对机场设施及周边环境有不利影响时，应进行振动影响监测。

【条文说明】机场或周边施工产生的振动可能影响机场设施，机场振动敏感的设施包括既有道面、航站楼、下穿通道、房建单体、塔台、灯光铁塔、导航设备、边坡、基坑等。当监测对象对振动的反应大于承受能力时会产生不利影响，需结合振动特征和监测对象承受能力确定施工安全距离，以保障监测对象安全。

8.2.2 振动影响监测项目宜包括质点峰值振动速率和主振频率。

【条文说明】振动的影响可通过地基土振动的特性参数（包括振幅、频率、振动速率和振动加速度）来确定。施工振动研究中一般采用质点振动速率作为振动强度指标。为防止振动频率与建

(构) 筑物自振频率相近而引起共振现象, 需要考虑监测对象的自振频率。工程监测时, 通常会根据不同的施工类型考虑施工振动频率对保护物的安全影响, 施工前可根据类似工程或现场实测波形估算振动频率范围, 施工过程中根据振动检测波形做频谱分析, 计算主振频率。

8.2.3 振动监测点布置应满足下列要求:

- 1 监测对象为飞行区道面时, 监测点应布置在距离振源最近的道面板;
- 2 监测对象为既有建(构)筑物时, 监测点宜布置在承重结构的最高点, 现场条件不允许时, 应布置在距离振源最近的既有建(构)筑物周边 1 m 范围内的振动敏感区;
- 3 监测对象为边坡和基坑时, 监测点宜布置在边坡坡顶和基坑边缘等最不利处。

【条文说明】机场既有建(构)筑物主要包括航站楼、下穿通道、房建单体、塔台、灯光铁塔和导航设备等。

8.2.4 每个监测对象应布置至少 1 个振动监测断面, 每个监测断面应不少于 3 个监测点, 监测断面应垂直于振动传播方向布置。

8.2.5 对振动敏感的监测对象, 每个监测点应同时测定质点振动相互垂直的 3 个分量。振动监测点的灵敏度主轴方向应为铅垂向。

8.2.6 监测频率应满足监测预警的需要。

8.3 暗挖施工影响监测

8.3.1 暗挖施工影响监测项目宜包含周边地表变形、深层土体位移、地下水位、孔隙水压力等, 监测方法宜采用自动化监测技术。

【条文说明】暗挖法主要包括盾构法、矿山法等。

8.3.2 盾构法和矿山法施工周边地表变形监测断面及监测点布置应符合下列规定:

- 1 应布置垂直于隧道轴线的横向监测断面, 监测断面应覆盖变形范围, 每个监测断面应布置多个监测点;
- 2 当穿越跑道、滑行道、站坪、导航建(构)筑物、航油管线区域时, 监测断面间距宜为 10 m~30 m, 监测点间距宜为 3 m~5 m;
- 3 当穿越地层偏压、围岩软硬不均、地下水位较高等地质条件复杂区段时, 监测断面间距宜为 30 m~50 m, 监测点间距宜为 5 m~10 m;
- 4 当穿越其他区域时, 监测断面间距宜为 50 m~100 m, 监测点间距宜为 10 m~30 m;
- 5 盾构法施工的始发段和接收段应增加监测点数量。

8.3.3 盾构法施工周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测孔及监测点布置应符合下列规定:

- 1 软弱土、膨胀性岩土、湿陷性土分布区, 土洞和溶洞、破碎带发育区等地质条件复杂地

段，应布置监测孔及监测点；

2 盾构法隧道下穿跑道、滑行道、导航台站及地下管线等地段，应布置监测孔及监测点。

8.3.4 孔隙水压力监测点布置应符合下列规定：

1 孔隙水压力监测点宜选择在地表变形较大、存在饱和软土和易产生液化的土层等有代表性的部位；

2 竖向监测点宜在孔隙水压力变化影响深度范围内按土层分布情况布置，竖向间距宜为 2 m~5 m，且数量宜不少于 3 个。

8.3.5 盾构法施工的地表变形监测频率应符合表 8.3.5 的规定。

表 8.3.5 盾构法施工影响地表变形监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点的距离	监测频率
开挖面前方	地表变形和周围环境	$L \leq 3D$	1 次/1 天
		$3D < L \leq 5D$	1 次/2 天
		$5D < L \leq 8D$	1 次/ (3 天~5 天)
开挖面后方	管片周围、地表变形和周围环境	$L \leq 3D$	(1~2 次) /1 天
		$3D < L \leq 8D$	1 次/ (1 天~2 天)
		$L > 8D$	1 次/ (3 天~7 天)

注：1 D 为盾构法隧道开挖直径 (m)， L 为开挖面至监测点距离 (m)。

2 上部覆盖层 (埋深) 不足盾构开挖断面宽度 2 倍时，应增大监测频率。

3 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/ (15 天~30 天)。

8.3.6 矿山法施工的地表变形监测频率应符合表 8.3.6 的规定。

表 8.3.6 矿山法施工影响地表变形监测频率

监测部位	监测对象	开挖面至监测点的距离	监测频率
开挖面前方	地表变形和周围环境	$L \leq 2B$	1 次/1 天
		$2B < L < 5B$	1 次/2 天
开挖面后方	地表变形和周围环境	$L \leq 1B$	(1~2 次) /1 天
		$1B < L \leq 2B$	1 次/1 天
		$2B < L \leq 5B$	1 次/2 天
		$L > 5B$	1 次/ (3~7 天)

注：1 B 为矿山法工程开挖宽度 (m)， L 为开挖面至监测点或监测断面的水平距离 (m)。

2 当拆除临时支撑时应增大监测频率。

3 上部覆盖层 (埋深厚) 不足矿山法开挖断面宽度 2 倍时，应增大监测频率。

4 监测数据趋于稳定后，监测频率宜为 1 次/ (15~30 天)。

8.3.7 盾构法施工周围土体深层水平位移和分层竖向位移监测频率应满足监测预警的需要。地下水位监测孔和监测频率应根据水文地质条件复杂程度、地下水对工程的影响程度以及地下水控制要求确定，并应符合本规范第4章的规定。

8.4 降水施工影响监测

8.4.1 下列建（构）筑物及设施处于降水施工影响范围内时，应进行施工影响监测：

- 1 跑道、滑行道、机坪；
- 2 下穿通道和地下管线；
- 3 导航台站、灯光站、塔台及其他建筑物；
- 4 PAPI灯、进近灯等助航灯光设施；
- 5 边坡、支挡结构等。

8.4.2 降水施工影响监测项目宜包括监测对象的沉降、水平位移、裂缝等。

8.4.3 监测点布置范围应覆盖降水影响范围，监测点位置应能反映监测对象的变形特征和安全状态，并符合下列规定：

1 建筑物倾斜监测点宜布置在主体结构顶部和底部，上下对应布置，上、下监测点应布置在同一垂直线上；

2 建筑物沉降监测点宜布置在建筑物外墙上及外墙转角处，监测点对称布置，每侧外墙监测点至少1个；

3 既有裂缝监测点宜布置在有代表性的位置，当原有裂缝增大或出现新裂缝时，应及时增设监测点，每条裂缝的监测点应不少于2个，且宜布置在裂缝的最宽处和裂缝末端；

4 地下管线位移和沉降监测点宜布置在管线的节点、转角点和变形曲率较大的部位，水平间距宜为10 m~15 m。埋设较浅和柔性的地下管线可不监测。

【条文说明】降水施工期间，地下水位下降可能会导致地下管线产生较大的剪切变形，严重时会对地下管线产生破坏，故需要进行地下管线位移和沉降监测。

8.4.4 降水施工影响监测的开始、终止时间应根据设计要求和施工情况确定，并应覆盖降水施工全过程；地下水控制水位未达到设计要求前，每天监测1次，达到设计降深后可每2天至5天监测1次；在地下水控制工程结束后15天内，应继续监测至少3次。

9 监测方法

9.1 一般规定

9.1.1 监测可采用仪器监测、巡视检查等方法。仪器监测可采用人工监测或自动化监测；巡视检查可采用人工巡查、视频监控或红外监控。常用监测方法及设备元器件可按附录 B 选取。

9.1.2 监测仪器设备和元器件应根据监测目的选择，并满足下列要求：

- 1 应检定合格，检定、校准及维护应符合国家现行有关标准的规定；
- 2 应具有足够强度、稳定性和耐久性，满足监测期间的正常使用要求，运营期在飞行区使用的尚应满足对易折性和电磁环境的要求；
- 3 在监测期如有损坏，具备条件的应及时修复或更换，采用预埋式的应在埋设时考虑一定的冗余。

【条文说明】针对建设期与运营期监测方式相同的指标，本规范规定了相应元器件的监测精度标准，以确保数据一致性与可比性。对于两者监测方式存在差异的指标，则在相应章节进行了说明，以指导实际操作。

监测设备选型需综合考量监测对象的特性、监测任务的持续时长以及设备安装位置的周边环境等因素，确保设备选型合理。对于预埋式监测设备，鉴于其在监测期间难以更换的特点，条文提出埋设时需预留足够的冗余量，以保障后续数据分析工作的需求。

为提升监测的智能化水平，本规范在明确监测结果精度要求的基础上，对具体使用的监测元器件不作硬性规定，提倡采用先进、高效的监测技术与方法。同时，要求所有监测方法所得结果的精度均需满足相应规范标准。

元器件的服役寿命管理，需结合其所属监测阶段及自身性能特点进行综合考虑。建设期元器件应确保使用寿命至少覆盖整个建设周期，若无法满足，则需便于更换。运营期监测作为长期任务，所有元器件均面临寿命限制挑战，对于埋入式等不易更换的元器件，需特别关注其监测最小时长要求；而可更换元器件则应在达到寿命前及时更替，以确保监测工作的连续性与有效性。

针对易折物体的设置，旨在通过其特定物理属性（如折断、扭曲或弯曲）在遭遇规定冲击力时减少对航空器的潜在危害。在无障碍区、升降带、跑道端安全区等关键区域，监测设备的选型与安装均需满足易折要求，并尽量降低安装高度，以符合安全规范。相关易折性标准可参

照《易折易碎杆塔通用技术要求及检测规范》(AC-137-CA-2014-01) 执行。

依据《运输机场运行安全管理规定》(CCAR-140-R2) 关于电磁环境保护的要求, 当监测设备采用无线传输技术时, 必须严格评估其对机场飞行区电磁环境的影响, 确保不会造成任何形式的电磁干扰, 从而保障机场运行安全。

9.1.3 建设期和运营期宜采用自动化监测技术进行数据采集、数据传输、数据解析、报告发布及数据异常情况下的预警。当采用无线传输技术时, 应符合机场无线电管理的相关规定。

9.2 变形与裂缝监测

9.2.1 原地基沉降、地表沉降、边坡坡面竖向位移、支挡结构竖向位移可采用全站仪、水准仪、InSAR、GNSS、光纤式沉降计或光纤角速度监测系统等方法测量, 地表水平位移、坡面水平位移、支挡结构水平位移宜采用全站仪、GNSS 等方法测量, 并符合下列规定:

1 三角高程测量中, 全站仪的一测回水平方向标准差应不大于 $1.0''$, 测距中误差应不超过 $1\text{ mm}+1\text{ ppm}$; 全站仪测站应设立在基准点或工作基点上, 并应采用有强制对中装置的观测台或观测墩; 测站视野应开阔无遮挡, 周围应设立安全警示标志; 应同时具有防水、防尘设施和不间断电源; 全站仪作业前应将自动观测成果与人工测量成果进行比对, 应在自动观测成果满足要求后, 再进行自动监测。

2 水准仪精度应符合《工程测量规范》(GB 50026) 的规定。基准点应设在稳定区域内, 并定期复测, 基准点数量应不少于 3 个。

3 InSAR 的监测精度应不低于 5 mm , 监测时应以雷达波束中心线为参考设计雷达测量视角, 并应将主要监测目标置于雷达波束最优辐射区域内, 目标主变形方向和雷达视线夹角宜不超过 60° 。

4 GNSS 的监测精度应不低于 2.5 mm , 接收器应安装在监测点位置, 与计算机连接, 并启动相应监测软件测量。

5 光纤式沉降计测量精度应不低于 0.1 mm , 并固定在监测点上。

6 光纤角速度监测系统的漂移精度应不低于 $0.01^\circ/\text{h}$, 并在测量区域内安装光纤陀螺仪和光纤传感器等设备采集监测数据。

9.2.2 分层沉降可通过埋设分层沉降标、多点位移计等, 采用水准测量方法进行监测, 也可采用分层沉降仪监测。采用水准测量时, 监测精度宜按表 9.2.2 确定, 水准点的埋设应符合本规范第 9.2.1 条的要求。采用分层沉降仪监测时, 每次测量应重复 2 次并取其平均值作为测量结果, 2 次读数较差应不大于 1.5 mm , 沉降仪的系统精度宜不低于 1.5 mm 。

表 9.2.2 竖向位移监测精度要求

竖向位移监测预警值	累计值 S/mm	$S \leq 20$	$20 < S \leq 40$	$40 < S \leq 60$	$S > 60$
		变化速率 $v_s / (\text{mm}/\text{天})$	$v_s \leq 2$	$2 < v_s \leq 4$	$4 < v_s \leq 6$
监测点测站高差中误差/ mm		≤ 0.15	≤ 0.5	≤ 1.0	≤ 1.5

注：监测点测站高差中误差指相应精度与视距的几何水准测量单程一测站的高差中误差。

9.2.3 分层沉降标的埋设应满足下列要求：

1 磁环式分层沉降标、深层沉降标、多点位移计可采用钻孔埋设，埋设后应保证稳定时间不少于 1 周，然后测量初始值；

2 沉降管埋设时，沉降管和孔壁之间宜采用黏土水泥浆而不宜用砂进行回填。

9.2.4 深层水平位移可采用测斜仪监测，测斜仪的系统精度宜不低于 $0.25 \text{ mm}/\text{m}$ ，分辨率宜不低于 $0.02 \text{ mm}/500 \text{ mm}$ 。

9.2.5 测斜仪埋设可采用绑扎法、钻孔法以及抱箍法等方法，埋设时应满足下列要求：

1 埋设前应检查测斜管质量，测斜管连接时应保证上、下管段的导槽相互对准、顺畅，各段接头及管底应保证密封，测斜管管口、管底应采取保护措施；

2 测斜管埋设时应保持竖直，防止发生上浮、断裂、扭转，测斜管导槽的方向应与所需测量的位移方向保持一致；

3 正式监测前宜采用探头模型检查测斜管导槽顺畅状态。

9.2.6 飞行区服务车道桥梁动挠度及梁端纵向、横向位移可采用全站仪监测，水平范围内的精度应不低于 $1.5 \text{ mm} + 2 \text{ ppm}$ ，垂直范围内的精度应不低于 $\pm (3 \text{ mm} + 2 \text{ ppm})$ 。

9.2.7 飞行区服务车道桥梁竖向位移可采用振弦式传感器监测，振弦式传感器应满足被测振幅的要求，量程在 X、Y、Z 三个方向上宜不低于被测振幅的最大预期值，频率范围宜在 $1400 \text{ Hz} \sim 2200 \text{ Hz}$ 之间，精度应不低于 $1\% F \cdot S$ 。振弦式传感器在安装后应保持水平和稳定。

9.2.8 飞行区服务车道桥梁支座位移可采用位移传感器监测，并应符合下列规定：

1 在安装位移传感器时，应保持传感器水平和稳定；

2 位移传感器在安装时，应保证传感器与结构物之间的接触面积，传感器的数量应足够覆盖整个结构物；

3 位移传感器的量程应大于被测桥梁的预估支座位移，其精度宜不低于 $0.5 \mu\text{m}$ 。

9.2.9 飞行区服务车道桥梁墩台沉降可采用沉降标记法进行监测，并应符合下列规定：

1 沉降标记可采用金属或钢筋制作，并应有标记编号和固定孔；

2 沉降标记在墩台两侧的布置位置应相同，桥台处应布置至少 2 个监测点。

9.2.10 下穿通道的净空收敛可采用钢尺收敛计并配合其他监测点进行监测，并应符合下列规定：

- 1 在隧道开挖、初次衬砌完成后的 24 h 内，应对开挖处进行监测点安装；
- 2 开挖后 24 h 内或下一次开挖之前，应对每对监测点进行初次测量，得到初读数；
- 3 钢尺收敛计的精度应不低于 0.01 mm。

9.2.11 建（构）筑物裂缝可采用千分尺、游标卡尺、裂缝显微镜、裂缝计等监测，裂缝宽度的监测精度应不低于 0.1 mm，裂缝长度和深度的监测精度应不低于 1 mm。

9.2.12 裂缝监测时，周边环境的温度可采用温度计、表面贴片式应变计、埋入式应变式温度计、光纤光栅温度计、红外热成像仪等进行监测。仪器量程应满足 $-50^{\circ}\text{C} \sim 120^{\circ}\text{C}$ 范围，结构表面温度监测精度应不低于 0.1°C ，混凝土、钢结构温度监测精度应不低于 0.01°C 。

9.3 应力应变监测

9.3.1 飞行区建（构）筑物结构应力可采用安装在结构内部或表面的混凝土应力计、钢筋应力计、轴力计、光纤光栅应力计等进行监测，应变可采用电阻应变计、振弦式应变计、光纤类应变计等进行监测。应力计或应变计的量程宜不小于设计值的 1.5 倍，精度宜不低于 $0.5\% F \cdot S$ ，分辨率宜不低于 $0.2\% F \cdot S$ ，应根据监测对象的结构形式、施工方法选择相应类型的应力应变传感器。

9.3.2 混凝土支撑和钢支撑轴力可采用混凝土应力计或钢筋应力计等监测，支撑轴力监测点的安装应符合《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497）的规定。

9.3.3 锚杆（索）轴力宜采用轴力计、钢筋应力计或应变计进行监测，当使用钢筋束时，宜监测每根钢筋的受力。轴力计、钢筋应力计和应变计的量程、监测精度、分辨率及轴力监测断面的选择可参照《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497）。

9.4 地下水土监测

9.4.1 地下水土监测宜包括孔隙水压力、地下水位、流量、流速、浑浊度、土压力、道面及地基温度、土体含水率监测等。

9.4.2 孔隙水压力可通过埋设钢弦式或应变式等孔隙水压力计监测，可采用压入法或钻孔法埋设，孔隙水压力计的量程、精度、分辨率和埋设要求可参照《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497），并应在孔隙水压力监测的同时，监测孔隙水压力计埋设位置附近的地下水位。

9.4.3 地下水位监测可采用钻孔内设置水位管或设置观测井，通过水位计进行监测，地下水位监测精度应不低于 10 mm，潜水水位管直径和滤管长度应根据土体的渗透性确定，水位管的埋设时间可参照《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497）。

9.4.4 地下水流量、流向、流速、浑浊度等监测应符合《地下水监测工程技术规范》（GB/T 51040）、《岩土工程勘察规范》（GB 50021）和《地下水环境监测技术规范》（HJ 164）等的规定。

9.4.5 土压力可采用土压力计监测，土压力计埋设可采用边界式或埋入式，土压力计的量程、精度、分辨率和埋设要求可参照《建筑基坑工程监测技术标准》（GB 50497）。

9.4.6 道面及地基温度可采用温度传感器、带温度测量的振弦应变传感器、分布式光纤测温系统（DTS）、红外线热成像技术等监测，监测精度应不低于 0.1℃。

9.4.7 土体含水率可采用光纤光栅湿度计、基于时域或频域反射法的水分计等监测，监测精度应不低于 0.1%。

9.5 振动监测

9.5.1 道面、建筑与飞行区服务车道桥梁结构的振动可采用振动监测系统进行监测，并应符合下列规定：

1 加速度传感器量程应大于计算分析振动响应最大值的 1.2 倍，且宜不小于 $\pm 1g$ ，横向灵敏度应小于等于 5%，频响范围宜为 0 Hz~100 Hz；

2 应变传感器量程应不小于 1 000 $\mu\epsilon$ ，且静应变传感器量程应不小于被监测预计变化范围的 1.2 倍，动应变传感器量程应不小于预测被监测变化范围的 2 倍，分辨率应小于 1 $\mu\epsilon$ 。

【条文说明】振动监测系统由测振传感器、测振放大器和显示与记录设备等部分组成。其中传感器包括力平衡加速度传感器、电动速度摆加速度传感器、电阻应变传感器、光纤类应变传感器等。

9.5.2 振动监测传感器的安装应满足下列要求：

1 宜位于表面平整位置；

2 当进行动力特性分析时，应安装在需识别的振型关键点上，覆盖结构整体，并根据需求对结构局部增加监测点。

9.5.3 道面的振动监测可采用光栅阵列振动传感缆、光纤布拉格光栅（FBG）加速度传感器等进行监测。光栅阵列振动传感缆宜覆盖道面板关键区域，FBG 加速度传感器应在跑道关键位置埋设。

【条文说明】平衡加速度传感器适用于复杂环境下的长期高精度测量；电动速度摆加速度传感器

适用于在环境噪声和外部干扰的影响下进行高灵敏度和高精度的测量；电阻应变传感器适用于在复杂温度和湿度条件下的高灵敏度静态和动态应变测量；光纤类应变计适用于在较强电磁干扰的环境中进行远距离传输高精度应变测量结果；FBG 加速度传感器适用于对精确和敏感振动要求较高情况的监测，其不同频率范围内的振动具有较高的抗干扰能力。

9.5.4 施工振动较大或影响对象敏感时，可采用地震仪进行监测。地震仪的放置位置应稳定、平整，地震仪应安放稳固并确保其处于水平状态。

【条文说明】地震仪使用前在安装地点确定准确的南北方向，将仪器底盘上标识“N”的竖刻线对准正北方向，标识“S”的竖刻线对准正南方向。调节水平至水平气泡居中，连接卫星定位导航天线和网络电源线，接通电源连接电脑。监测常用地震仪的动态范围为 144 dB，通频带带宽为 0.1 Hz~4 000 Hz，幅度一致性优于 $\pm 2\%$ ，相位一致性优于 0.01%。

10 监测成果与应用

10.1 一般规定

10.1.1 每次监测结束后，应及时进行成果整理与分析。

10.1.2 监测项目的监测预警值和监测控制值应符合设计要求和国家现行相关标准，工况发生变化时可进行调整。监测数据达到监测预警值时，应增加监测频率、进行检查分析及采取初步措施；监测数据达到监测控制值时，必须立即停止施工或停止运行，采取紧急加固或抢险措施。

10.1.3 应根据项目委托方要求或项目实际情况，按期或按监测数据变化情况提交监测阶段性成果。

10.1.4 监测系统与监测数据平台应符合工程实际需求，适应机场建设运营环境，并宜统筹设计，集成应用，满足整体监测业务需求。

10.1.5 监测数据应符合行业数据管理相关要求。

【条文说明】 数据管理相关要求指《国家数据标准体系建设指南》、智慧民航数据治理规范、行业数据管理办法等。

10.2 监测数据整理与分析

10.2.1 监测外业完成后，应及时对原始记录进行检查。检查工作应包括下列内容：

- 1 作业方法是否符合规定；
- 2 监测记录是否正确、完整、清晰；
- 3 误差检验是否在限差以内；
- 4 是否存在系统误差。

10.2.2 原始记录检查发现下列情况时，应及时处理：

- 1 监测数据不在限差以内或异常，应立即重测；
- 2 监测数据含有较大的系统误差时，应分析原因，并设法减少或消除其影响；
- 3 如有漏测，应及时补测或复测，并记录有关情况。

10.2.3 原始数据检查无误后,应将其换算成所需的监测物理量,绘制监测物理量-时间曲线图、平面分布图等图件,并分析监测值的变化趋势。

10.2.4 地下水监测资料应进行系统整理与分析,绘制地下水等水位线图、地下水位动态变化图、地下水流量动态变化图、孔隙水压力动态变化图等。

10.2.5 地基与场地的沉降变形监测资料整理,应绘制沉降变形与时间的关系曲线,统计分析沉降变形的累计变化值、变化速率值等,分析地基变形的主要土层,预测地基沉降变形趋势。

【条文说明】沉降变形包括地表沉降、分层沉降、原地基沉降等。

10.2.6 沉降变形预测分析可采用曲线回归法,曲线回归法预测分析应符合下列规定:

1 曲线回归法应根据地基条件和填料类别选择,可采用双曲线法、浅冈法、指数法、对数法等;曲线回归的相关系数应不低于 0.90;

2 变形预测的可靠性应经过验证。原地基为基岩时,间隔时间应不少于 1 个月;原地基为其他地基时,间隔时间应不少于 3 个月。两次预测最终沉降量的差值应不大于平均值的 5%。

10.2.7 道面结构层的施工时机应根据飞行区道面影响区地基沉降监测数据和运营期荷载情况分析确定,应以预测的工后沉降和工后差异沉降作为主要判定指标,监测的沉降速率可作为参考指标。

【条文说明】建设期道面影响区地基沉降稳定判定标准,一直是民航机场建设领域关注的技术难题之一。地基沉降监测是十分必要的,尤其是对于高填方工程和软土地基建设工程,可以通过沉降监测掌握地基沉降规律,确定合理的道面施工时机,有效避免因地基沉降造成的道面结构破坏和地基沉降过大给机场安全运行带来的不利影响。地基处理或土石方工程设计时,通常会根据《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)的规定,明确设计使用年限内的道面影响区工后沉降和差异沉降的控制标准。实际工程建设过程中,根据监测数据推测工后沉降,需要进行大量数据分析,不够直观,实践中也试图提出以沉降速率为控制指标的沉降稳定判定标准。说明表 10.2.7 统计分析了全国多个软土地基、高填方地基等沉降问题较为突出的大型机场地基沉降监测数据。

说明表 10.2.7 地基沉降监测情况典型案例统计表

机场名称	典型工况	沉降稳定控制指标	监测时长	预测沉降量	沉降速率	备注
GY 机场	原地基红黏土厚度小于 5 m, 采用换填或强夯处理; 填料为强~中风化岩块, 填方厚度小于 20 m, 采用强夯或冲击碾压分层填筑	跑道和滑行道在设计使用年限 30 年内的工后沉降分别不大于 0.2 m 和 0.3 m、工后差异沉降分别不大于 1.0‰和 1.5‰	约 6 个月	30 mm ~ 100 mm	0.03 mm /天~0.2 mm /天	
	原地基红黏土厚度 5 m~10 m, 采用“CFG+碎石桩”组合型复合地基处理; 填料为强~中风化岩块, 填方厚度小于 20 m, 采用强夯或冲击碾压分层填筑		约 6~12 个月	100 mm~150 mm	0.05 mm /天~0.23 mm /天	
	原地基红黏土厚度 10 m~18 m, 采用“CFG+碎石桩”组合型复合地基处理; 填料为强~中风化岩块, 填方厚度大于 20 m, 采用强夯或冲击碾压分层填筑		大于 12 个月	150 mm~230 mm	0.07 mm /天~0.29 mm /天	
XM 机场	原地基淤泥等软弱土厚度小于 8 m 时, 采用“插打排水板+堆载预压处理”; 填筑体为吹填海砂, 厚度 8 m~12 m, 采用强夯或振冲	道面影响区在设计使用年限 30 年内的工后沉降不大于 0.25 m、工后差异沉降不大于 1.5‰	大于 12 个月	80 mm ~ 210 mm	连续一个星期沉降速率不大于 0.5 mm/天	以沉降速率为卸载控制标准
	原地基淤泥等软弱土厚度 8 m~20 m, 采用“插打排水板+堆载预压处理”; 填筑体为吹填海砂, 厚度 8 m~12 m, 采用强夯或振冲		大于 18 个月	100 mm~225 mm		
CD 机场	沟谷软弱土分布宽度 70 m~150 m, 原地基上层为可塑粉质黏土 1.7 m、软塑黏土 6.1 m, 采用“碎石桩+排水板堆载预压处理”, 堆载高度 5 m~7 m。	连续两个月沉降速率 ≤ 0.22 mm/天	19 个月	≤64 mm	连续两个月沉降速率 ≤ 0.22 mm/天	以沉降速率为卸载控制标准
	沟谷软弱土分布宽度 90 m~120 m, 原地基土层为素填土 2.1m、软塑黏土 6.0 m、可塑黏土 1.1 m, 采用“碎石桩+排水板堆载预压处理”, 堆载高度 4 m	连续两个月沉降速率 ≤ 0.15 mm/天	20 个月	≤41 mm	连续两个月沉降速率 ≤ 0.15 mm/天	
	沟谷软弱土分布宽度 70 m~110 m, 原地基上层为软塑粉质黏土 6.5 m、可塑粉质黏土 2.1 m, 采用“碎石桩+排水板堆载预压处理”, 堆载高度 4 m	连续两个月沉降速率 ≤ 0.25 mm/天	20 个月	≤53 mm	连续两个月沉降速率 ≤ 0.25 mm/天	
	沟谷软弱土分布宽度 60 m~70 m, 原地基上层为软塑黏土 7.8 m、可塑黏土 3.1 m, 采用“碎石桩+排水板堆载预压处理”, 堆载高度 4 m	连续两个月沉降速率 ≤ 0.11 mm/天	16 个月	≤48 mm	连续两个月沉降速率 ≤ 0.11 mm/天	

续表

机场名称	典型工况	沉降稳定控制指标	监测时长	预测沉降量	沉降速率	备注
KM 机场	软塑~可塑的红黏土、黏性土, 采用碎石桩处理	工后 20 年沉降变形不大于 250 mm, 工后差异沉降不大于 1.8‰; 非超载预压区连续 2 个月的沉降速率不大于 0.17 mm/天, 超载预压区的沉降速率不大于 0.3 mm/天	>18 个月	≤196 mm	0.18 mm/天~0.33 mm/天	非超载预压区连续 2 个月沉降速率 ≤ 0.17 mm/天, 超载预压区沉降速率 ≤ 0.3 mm/天
	可塑~硬塑的红黏土、黏性土, 按不同的土层厚度 H , 采用不同能级垫层强夯处理; $H > 8$ m, 4 000 kN·m 垫层强夯; $5 \text{ m} < H \leq 8$ m, 3 000 kN·m 垫层强夯; $H \leq 5$ m, 2 000 kN·m 垫层强夯		>18 个月	≤51 mm	0.01 mm/天	
PD 机场	由黏性土、粉性土和砂土组成, 采用“插排水板+超载预压处理”, 超载 50%	超载预压, 连续 5 天小于 0.6 mm/天	10~12 个月	100 mm~290 mm	0.18 mm/天~0.33 mm/天	以沉降速率为堆载体卸载控制标准
	由陆域区和水域区组成, 由黏性土、粉性土和砂土组成, 其中水域区表层淤泥围海促淤形成, 厚度 1.2 m~5.5 m。采用“插排水板+超载预压处理”, 超载 30%	超载预压, 连续 5 天小于 0.6 mm/天~1 mm/天	22~23 个月		0.01 mm/天	

根据上表, 道面影响区地基沉降规律受地质条件、填筑厚度、填料性质、填筑工艺、地基处理方法等众多因素的影响, 沉降速率和预测沉降量无法建立简单的对应关系。沉降是否满足要求, 主要以道面设计使用年限内沉降不影响道面运行为依据, 所以条文提出以预测的工后沉降和工后差异沉降作为主要判定指标。实际工程中也有采用沉降速率作为沉降稳定判定标准的案例, 但不同项目、不同工况, 甚至同一机场不同区域的沉降速率判定标准迥异, 仅以监测的沉降速率来判定沉降是否稳定是不严谨的, 沉降速率不宜作为唯一判定指标。

10.2.8 边坡监测数据整理与分析应满足下列要求:

- 1 整理后的数据应满足数据分析的需要, 绘制变形-时间曲线, 裂缝、隆起以及变形位移空间分布图, 深层水平位移-深度曲线图, 以及各监测数据的累计变化值、变化速率值等;
- 2 边坡监测数据分析应采用监测值与监测预警值或监测控制值相比较, 分析边坡变形趋势, 对边坡稳定性作出判断。

10.2.9 道面监测数据应进行系统整理与分析, 绘制道面变形、位移、温度和加速度等动态变化图, 计算监测数据累计变化值、变化速率值, 并做相关性分析。

10.2.10 飞行区服务车道桥梁监测数据整理与分析可采用时域分析、频域分析、时间序列特征分析等方法，多梁式桥梁应进行协同工作性能分析，整体式桥梁应进行偏载系数分析。监测数据分析内容宜符合表 10.2.10 的规定。

表 10.2.10 飞行区服务车道桥梁监测数据分析内容

监测类别		监测项目	分析内容
环境	温度	环境温度	平均温度、最高温度、最低温度
		构件温度	平均温度、最高温度、最低温度、断面最大温度梯度
	湿度	环境湿度	平均值、最大值和超限持续时间
作用	车辆荷载	车流量、行驶速度	车流量、年极值、图像识别
	地震	桥墩底部加速度	绝对最大值、峰值、均方根值、频谱
结构响应	位移/变形	主梁关键截面挠度	峰值、冲击系数、长期变形趋势
		梁端纵向、横向位移	绝对最大值、累计值、位移方向
		支座位移	绝对最大值、累计值、位移方向
	动力特性		加速度、自振频率、振型、阻尼比
	应变	主梁关键截面应变	峰值、冲击系数、长期变化趋势
	裂缝	结构裂缝	平均值、最大值、长期变化趋势
	支座	反力	平均值、最大值、最小值、最大变化量
结构变化	腐蚀介质	氯离子含量	腐蚀速率、氯离子浓度
		墩身、承台混凝土侵蚀深度	腐蚀速率、深度、程度
	墩台沉降	墩台竖向位移	平均值、最大值、趋势值、变化率

10.2.11 下穿通道监测数据整理与分析应满足下列要求：

1 整理后的数据应满足数据分析的需要，绘制变形-时间曲线，地表变形、径向收敛等各监测数据的累计变化值、变化速率值等；

2 下穿通道监测数据分析应采用监测值与监测预警值或监测控制值相比较，分析变形趋势，对变形作出初步判断；

3 下穿通道暗挖施工影响监测的监测数据整理与分析，应提供影响区地面变形分布图、地面变形范围与下穿工程的位置关系、地面变形的时程曲线。

10.2.12 建筑物监测数据整理与分析，应包含平差计算、几何分析、变形建模与预报等内容，并符合《建筑变形测量规范》(JGJ 8) 的规定。

10.2.13 振动影响监测数据整理与分析应满足下列要求：

1 应如实记录监测数据，输入专用分析软件进行处理，分别读出监测量的峰值、对应的时间等，并进行频谱分析，计算主振频率；

2 应根据原始波形的特征,分析判定记录波形中可能出现的异常值,找出原因并进行处理。

【条文说明】 试验的原始记录数据是参量的时间历程(位移、速度或加速度等量值同时间的关系),通过直观分析可将数据分为瞬态的、周期的、随机或非随机持续非周期三种,进而在时域(包括时差域,即自变量为两信号的时间差)、频域和幅值域中进行统计分析、相关分析和谱分析,从而得到表征时间历程特征的各种函数。

10.2.14 暗挖施工影响监测数据整理与分析,应提供影响区地面变形分布图、地面变形范围与暗挖工程的位置关系、地面变形的时程曲线、地下水位时程曲线。

10.2.15 降水施工影响监测数据整理与分析,应提供沉降时程曲线、邻近建筑物的倾斜和裂缝开展的时程曲线。

10.3 监测预警

10.3.1 地下水、飞行区道面影响区地基、通信导航与目视助航设施场地、不良地质作用场地、道面、飞行区建筑物的监测预警值应根据设计要求确定。

10.3.2 地下工程穿越既有跑道、滑行道、机坪等区域时,差异沉降、监测预警值、监测控制值等控制指标,应考虑地质条件复杂程度、工程特点、道面适航性要求等因素综合确定。

【条文说明】 目前机场范围暗挖法隧道施工引起跑道、滑行道等沉降的监测控制值尚无成熟经验。经调研,穗莞深城际下穿深圳宝安国际机场滑行道及机坪的沉降监测控制值为:工后一年内,沉降不大于 20 mm;差异沉降不大于 1.5‰;长赣高铁下穿长沙黄花机场滑行道与端安全区的沉降监测控制值为:施工期及工后一年内,累计总沉降不大于 30 mm;差异沉降不大于 2‰,水泥混凝土道面 3 m 内的标高差值不大于 10 mm。

10.3.3 边坡坡体的监测预警值和监测控制值应根据边坡勘察设计资料和监测数据确定,并根据实际情况调整,运营期至少每年核定一次。

10.3.4 边坡支挡结构的监测预警值和监测控制值应根据结构形式、地质条件、设计计算结果及当地工程经验确定。无当地工程经验时,可按表 10.3.4 确定。

表 10.3.4 边坡支挡结构监测预警值与监测控制值

监测项目		累计值	变化速率
支挡结构顶部的水平位移	监测预警值	4‰H 且不大于 40 mm	4 mm/天
	监测控制值	5‰H 且不大于 50 mm	5 mm/天

续表

监测项目		累计值	变化速率
桩顶的竖向位移	监测预警值	$4\%cH$ 且不大于 40 mm	4 mm/天
	监测控制值	$5\%cH$ 且不大于 50 mm	5 mm/天
重力式挡土墙墙趾部位的水平位移	监测预警值	40 mm	4 mm/天
	监测控制值	50 mm	5 mm/天
重力式、扶壁式挡土墙的竖向位移	监测预警值	根据沉降计算确定	根据沉降计算确定
	监测控制值	根据沉降计算确定	根据沉降计算确定
支挡结构深层水平位移	监测预警值	40 mm	4 mm/天
	监测控制值	50 mm	5 mm/天
预应力锚杆轴力	监测预警值	最大值: $80\%f_N$ 最小值: $70\%f_y$	—
	监测控制值	最大值: f_N 最小值: $50\%f_y$	—

注: 1 H 为支挡结构自坡脚地面起算的高度。

2 f_N 为锚杆轴向拉力设计值, 即相应于作用的标准组合时锚杆所受轴向拉力。

3 f_y 为锚杆预应力设计值, 即锚杆轴向拉力标准值与钢筋(钢绞线)抗拉安全系数的乘积。

【条文说明】边坡支挡结构的监测控制值是不能突破的限值, 当监测结果达到监测控制值时, 必须立即采取有效措施避免险情发生。边坡支挡结构主要监测位移和锚杆轴力, 水平位移的监测控制值主要参照《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 中混凝土构件挠度限值的相关规定, 按照支挡结构高度的相对值和位移绝对值双控。考虑到大部分支挡结构高度不超过 10 m, 水平位移绝对值控制在 50 mm 左右是合理的。重力式挡土墙在施工期间控制墙趾部位的水平位移在 50 mm 内, 防止出现挡土墙底摩阻力不足的情况。预应力锚杆的轴力监测控制值上限值为锚杆轴向拉力设计值, 达到此值时锚杆尚可正常工作, 但安全冗余已经很小, 必须采取措施。预应力锚杆的轴力监测控制值下限值为 $50\%f_y$, 即锁定值的一半, 如轴力继续减小可能造成锚杆失效, 危及支护系统安全, 此时必须采取措施。监测预警值一般按照监测控制值的 80% 左右设定。

10.3.5 飞行区服务车道桥梁监测预警值应符合表 10.3.5 的规定, 监测控制值应根据桥梁健康度和技术状况等因素确定。

表 10.3.5 飞行区服务车道桥梁监测预警值

类别	监测项目	监测预警值
环境	最高温度、最低温度、最大温差	达到监测控制值
	构件封闭空间内相对湿度	达到 50%
	混凝土构件温度	达到监测控制值
结构响应	主梁关键截面挠度	车辆自重作用下的准静态挠度与设计荷载作用下的挠度之比达到挠度校验系数常值范围上限的 0.8 倍
	梁端纵向位移	绝对值达到 0.8 倍监测控制值
	梁端横向位移	达到 0.8 倍监测控制值
	支座位移	绝对值达到 0.8 倍监测控制值
	主梁振动加速度	10 min 加速度均方根达到 315 mm/s^2 且持续时间超过 30 min
	关键截面应变	超过历史最大值
	裂缝	出现结构性裂缝
结构变化	腐蚀	腐蚀深度达到保护层深度
	墩台沉降	$s \geq 20 \sqrt{L}$ (mm), 或 $\Delta s \geq 10 \sqrt{L}$ (mm)
监测数据分析结果	主梁下挠	持续下挠
	整体式结构偏载系数	达到 0.8 倍监测控制值
	多梁 (肋) 式结构横向协同工作性能	相邻梁结构响应的相关系数发生突变
	剔除环境影响的桥梁主要频率变化	超过 3%
	基于监测数据的深度挖掘状态评估	根据方法原理和试验结果确定

注: s 为墩台均匀总沉降; Δs 为相邻墩台总沉降差值; L 为相邻墩台最小跨径, 单位为 m。

【条文说明】参照《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037) 和《梁式桥结构监测技术规程》(T/CECS G: Q31-01), 监测预警值根据监测内容历史统计值、材料允许值、仿真计算值、设计值和规范容许值设定, 并考虑健康度评估、特殊事件应急管理监测应用需求。

10.3.6 下穿通道的监测预警值和监测控制值应根据下穿通道的结构形式、交通方式等确定。

10.3.7 基坑工程的监测预警应符合《建筑基坑监测技术规范》(GB 50497) 的规定。

10.3.8 振动影响对象为既有道面、航站楼、下穿通道、房建单体、塔台、灯光铁塔、导航设备、基坑及边坡等时, 监测控制值可参照表 10.3.8 确定。监测数据达到监测控制值时, 应立即停止振动影响施工并巡查振动影响对象破坏情况。

表 10.3.8 振动影响监测控制值

序号	监测对象	安全允许质点振动速度/ (mm/s)		
		$f < 10$ Hz	$10 \text{ Hz} \leq f \leq 50$ Hz	$f > 50$ Hz
1	房建单体、塔台	15~20	20~25	25~30
2	航站楼	25~35	35~45	42~50
3	道面	70~80	80~100	100~120
4	下穿通道	100~120	120~150	150~200
5	灯光铁塔	设计要求		
6	导航设备	产品说明书或设计要求		
7	基坑、边坡	设计要求		

注：1 表中 f 为主振频率，质点振动速度为 3 个分量中的最大值。

2 频率范围根据现场实测波形确定。

3 选取监测控制值时，应综合考虑建（构）筑物的重要性、新旧程度、自振频率、地基条件等；监测对象处于运行状态时，按表中小值选取。

【条文说明】表 10.3.8 中振动影响监测控制值参考《爆破安全规程》（GB 6722），并结合机场设施特点综合确定。

10.3.9 暗挖施工和降水施工影响的监测预警值应根据监测对象的现状、使用要求和相关技术标准等综合确定。

【条文说明】机场内的各种设施运行使用要求，在《民用机场飞行区技术标准》（MH 5001）、《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》（MH 5007）、《民用机场道面评价管理技术规范》（MH/T 5024）、《建筑地基基础工程施工质量验收标准》（GB 50202）、《民用机场助航灯光系统运行维护规程》（AP-140-CA-2009-1）、《民用航空通信导航监视台（站）设置场地规范》（MH/T 4003.1—2021）等规范中有相关规定。

10.4 监测系统与监测数据平台

10.4.1 监测系统应包括数据采集与传输、数据存储与处理、数据分析与应用等功能。监测数据平台应包括多系统数据交换与融合、监测成果展示、数据分析与管理等功能。

10.4.2 监测系统数据采集与传输应满足下列要求：

- 1 应保证信号信噪比高、不失真，动态信号应满足采样定理；
- 2 数据采集及传输设备应满足兼容性、耐久性和环境适应性；

- 3 数据采集站布置应考虑传感器布置、信号传输距离、易于维修等要求；
- 4 数据采集采用硬件设备采集和传输时，应自动采集和传输数据；
- 5 数据传输可采用有线传输和无线传输方式。

【条文说明】有线传输具有稳定性强、带宽大等特点，无线传输具有安装方便、灵活性强、网络易扩展等特点。根据监测条件优先采用有线传输，当监测环境复杂、布线施工困难时，适宜采用无线传输。有线传输路由与综合布线根据现场情况、传感器与数据采集站布置及信号传输距离进行设计，优先利用工程其他路由共槽走线，并与强电设置一定安全距离。

10.4.3 监测系统数据存储与处理应满足下列要求：

- 1 数据应以数据库形式进行最终存储，满足数据集中管理和分析的需要；
- 2 应提供通用数据接口，满足人工监测数据或卫星数据导入的需要；
- 3 数据处理应具备数字滤波、去噪、截取和异常点处理等预处理功能，以及数据分析计算功能；
- 4 应具备数据备份、清除和故障恢复等功能，监测数据存储时效应满足监测任务要求。

【条文说明】监测数据中常常包含大量的噪声和干扰，比如传感器漂移、温度变化、风力影响等，也可能包括传感器失效，为了使得监测数据更加准确和可靠，需要进行清洗和去噪。

10.4.4 监测系统数据分析与应用应满足下列要求：

- 1 具备统计分析、解析或数值模拟等数据分析计算功能；
- 2 具备工程信息和监测数据可视化功能，工程信息可视化宜包含工程地图、空间信息、地理信息、监测布置等信息，可采用二维或三维模型形式，监测数据可视化宜包含数据曲线图和专题图；
- 3 设定监测预警值，具备预警功能；
- 4 应根据不同用户提供下载和查看权限。

【条文说明】工程信息二维可视化可以采用平面与剖面相结合的形式，三维模型可视化可以采用“BIM+GIS”的形式。

10.4.5 监测系统运行的可靠性可采用平均无故障工作时间 (MTBF) 进行考核，考核期的 MTBF 应符合下列规定：

- 1 建设期的考核期宜按一个月计算，MTBF 应大于 680 h；
- 2 运营期的考核期宜按一年计算，MTBF 应大于 6 300 h；
- 3 MTBF 应按式 10.4.5 计算：

$$MTBF = \left(\sum_{i=1}^n \frac{t_i}{1 + r_i} \right) / n \quad (10.4.5)$$

式中： t_i ——考核期内，第 i 个监测点或采集单元的正常工作时数；

r_i ——考核期内，第 i 个监测点或采集单元出现的故障次数；

n ——系统内监测点或数据采集单元总数。

【条文说明】平均无故障工作时间（MTBF）是指两次相邻故障间的正常工作时间，短时间可恢复的不计。故障是指数据采集单元不能正常工作，造成所控制的单个或多个监测点的监测值异常或停测。建设期的考核期的一个月按 30 天计算。

10.4.6 监测数据平台数据交换与融合应满足下列要求：

- 1 存入数据库的监测数据应符合数据标准格式，不同格式的数据应在平台统一管理；
- 2 数据共享可采用 Web Service 接口形式；
- 3 多源数据融合应将数据采集、数据上传获取的所有信息全部综合，统一评价。

10.4.7 监测数据平台监测成果展示应满足下列要求：

- 1 应具备多监测系统的工程信息和监测数据可视化功能；
- 2 应提供不同用户的下载和查看权限。

10.4.8 监测数据平台数据分析与管理应满足下列要求：

- 1 可分析多监测系统数据的相互关系；
- 2 应具备多监测系统数据分类、归档功能，并满足多监测系统数据快速处理和分析要求；
- 3 应明确数据管理权限，建立认证和授权机制。

10.4.9 监测系统与监测数据平台的数据安全保护应满足下列要求：

- 1 可设置专用服务器或采用云服务；
- 2 应具备云上容灾保护与本地恢复功能，确保数据安全性、连续性；
- 3 应具有 SSL 证书，防止数据遭窃取和篡改；
- 4 应能解析数据库通信流量，细粒度审计数据库访问行为，精准识别、记录数据安全威胁；
- 5 应具备敏感数据保护功能，可发现、分类和保护敏感数据；
- 6 应具有防勒索、防病毒、防篡改、合规检查等安全能力，可实现威胁检测、响应、溯源的自动化安全运营闭环。

10.4.10 监测系统与监测数据平台的维护和管理应满足下列要求：

- 1 应编制使用维护手册，并制定相关的管理规定，以及系统发生故障时保证不间断监测的应急预案；
- 2 安装调试完成后应进行试运行；
- 3 有效原始数据应全部存档及时备份；
- 4 应建立日常运行维护日志；
- 5 应适时进行完善升级。

10.5 监测成果

10.5.1 监测成果应包括监测数据、监测记录和监测报告等。

10.5.2 监测记录应内容完整、记录规范，采用自动化监测时应自动存储原始数据。

10.5.3 监测报告编制应满足下列要求：

- 1 报告应结构清晰、重点突出、结论明确；
- 2 按工程要求和需要编制，可采用日报、周报、月报、阶段报告、总结报告、预警报告等形式；
- 3 对监测时效性要求较高时，可编制日报、周报、月报等；
- 4 需要提供阶段性监测成果时，可编制阶段报告；
- 5 监测完成后，应编制总结报告；
- 6 监测预警时，可编制预警报告。情况紧急时，预警报告可简化。

10.5.4 监测日报、周报、月报宜包括下列内容：

- 1 项目进度；
- 2 现场巡查信息，如巡查照片、记录等；
- 3 监测日期、天气情况、监测项目累计变化值、变化速率值、监测预警值、监测控制值、监测点布置等；
- 4 监测数据整理与分析；
- 5 结论与建议。

10.5.5 阶段报告、总结报告宜包括下列内容：

- 1 项目概况；
- 2 监测工作情况，如监测依据、监测项目、监测点布置等；
- 3 监测方法和技术；
- 4 监测频率；
- 5 监测数据整理与分析；
- 6 监测预警情况；
- 7 结论与建议；
- 8 附图、附表和其他附件。

10.5.6 预警报告宜包括下列内容：

- 1 警情发生的时间、地点、情况描述、严重程度、施工工况等；
- 2 现场巡查信息，如巡查照片、记录等；

- 3 监测数据图表，如监测项目的累计变化值、变化速率值、监测点布置等；
- 4 监测数据整理与分析；
- 5 结论与建议。

10.5.7 监测成果保存宜包含下列资料：

- 1 监测合同；
- 2 监测方案、技术交底记录；
- 3 基准点安装或埋设及移交资料；
- 4 监测设备校准或标定证明材料、监测点安装或埋设记录等；
- 5 监测数据、监测记录、监测报告；
- 6 监测影像资料；
- 7 监测系统。

附录 A 建设期和运营期监测项目

A.0.1 建设期和运营期监测项目可参照表 A.0.1 选取。

表 A.0.1 建设期和运营期监测项目

监测对象		监测项目		
		建设期	运营期	
地下水		地下水动态 (水位、流向、流速、水温、水质、地下水露头点的流量、孔隙水压力)、场区内泉水的流量、盲沟出水口的浑浊度	地下水动态 (水位、流向、流速、水温、水质、地下水露头点的流量、孔隙水压力)、流入流出边坡的水量、盲沟出水口的浑浊度	
地基与场地	飞行区道面影响区地基	表面沉降、分层沉降、原地基沉降、地下水位、孔隙水压力	表面沉降、地下水位；含水率 (盐渍土地基、膨胀土地基)、地温 (盐渍土地基、冻土地基)；冻胀、融沉 (冻土地基)	
	地下工程影响场地	地表沉降、土体分层沉降	表面沉降和水平位移	
	通信导航和目视助航设施场地		表面沉降和水平位移	
	飞行区建筑物场地	表面沉降	表面沉降	
	不良地质作用场地	岩溶场地		表面沉降、地下水位 (头)、地下水流向、地下水流速
		滑坡场地	岩土体横向水平位移、地下水、孔隙水压力、裂缝、结构内力	岩土体横向水平位移、地下水、孔隙水压力、裂缝、结构内力
地面沉降		表面沉降	表面沉降	

续表

监测对象		监测项目	
		建设期	运营期
边坡	坡体	坡面竖向位移、坡面水平位移、降雨量； 孔隙水压力、深层水平位移； 地下水水位、水量、浑浊度； 深层水平位移裂缝	坡面竖向位移、坡面水平位移、降雨量； 孔隙水压力、深层水平位移； 地下水水位、水量、浑浊度； 深层水平位移； 裂缝
	加筋土挡墙 (加筋土边坡)	墙面水平位移、墙面竖向位移、 墙面倾斜度、水平土压力、基底 土压力、筋材应变	墙面水平位移、墙面竖向位移、墙 面倾斜度、水平土压力、基底土压 力、筋材应变
	重力式挡土墙	施工期间墙趾部位的水平位移和 竖向位移； 竣工后至投运挡土墙顶部的水平 位移和竖向位移	墙顶部的水平位移和竖向位移
	桩板式、扶壁式 挡墙、排桩	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位 移，深层水平位移	桩顶、墙顶的水平位移和竖向位 移，深层水平位移
	预应力锚杆	锚杆轴力	锚杆轴力
飞行区 建(构) 筑物	道面		道面结构应变、道面结构温度、道 面结构振动、结构内部温度
	飞行区服务车道桥梁		环境：温度、湿度
			作用：行驶速度、车流量、车辆空 间分布视频图像、地震时桥墩顶部 和底部加速度
			结构响应：挠度、位移、振动加速 度、应变、结构裂缝、支座反力
			结构变化：氯离子含量、墩身、承 台混凝土侵蚀深度、竖向位移
	飞行区下穿通道	竖向位移、水平位移、净空收敛、 洞口地表位移、结构内力及围岩 压力	竖向位移、水平位移、净空收敛、 洞口地表位移、结构内力及围岩 压力
飞行区建筑物	变形、裂缝、基坑监测	变形、裂缝	

续表

监测对象		监测项目	
		建设期	运营期
施工影响	振动影响	质点峰值振动速率、主振频率	
	暗挖施工影响	周边地表变形、深层土体位移、地下水位、孔隙水压力	
	降水施工影响	沉降、水平位移、裂缝	

注：表中所列运营期监测为工程监测相关的监测项目，不能包含机场运营安全的所有监测项目。

附录 B 常用监测方法及设备元器件

B.0.1 常用监测方法及设备元器件可参照表 B.0.1 选取。

表 B.0.1 常用监测方法及设备元器件

监测项目		监测方法	常用监测设备元器件
位移	表面水平位移	平面测量、GNSS	全站仪
	表层竖向位移、 原地基沉降	水准测量、InSAR、GNSS、光纤式沉降计、光纤角速度线形监测系统	全站仪和水准仪、光纤传感器
	分层沉降	水准测量、分层沉降仪	磁环式分层沉降标、多点位移计
	深层水平位移	埋设测斜管	测斜仪
	桥梁动挠度及梁端纵向、 横向位移	水准测量	全站仪
	桥梁及支座竖向位移	埋设传感器	振弦式传感器、位移传感器
	桥梁墩台沉降	沉降标记法	
净空收敛		钢尺收敛计、水准测量	钢尺收敛计
振动	结构振动	埋设传感器	加速度传感器、应变传感器、电动速度摆加速度传感器、电阻应变计、光纤类应变计
	道面振动	仪器监测	光栅阵列振动传感缆、FBG 加速度传感器
	施工振动影响		地震仪
水位监测		钻孔内设置水位管、观测井	水位计
土压力		埋设土压力计	土压力计
孔隙水压力		埋设孔隙水压力计	孔隙水压力计
结构应力		结构内部或表面安装传感器	应变计、应力计、轴力计、光纤光栅应力（应变）传感器、轴力计

续表

监测项目	监测方法	常用监测设备元器件
温度	埋设传感器、分布式光纤测温系统 (DTS)、红外线热成像技术等	温度计、温度传感器、带温度测量的振弦应变传感器、光纤光栅温度计
含水率	埋设传感器	光纤光栅湿度计、基于时域或频域反射法的水分计
裂缝	直接测量法、计算机视觉成像	千分尺、游标卡尺、裂缝显微镜、裂缝计等, 高分辨率相机

标准用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词，说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词采用“可”。

2 条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为“应符合……的规定”或“应符合……的要求”。非必须按所指定的标准、规范或其他规定执行时，写法为“可参照……”。

引用标准名录

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件，凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- [1] 《混凝土结构设计规范》(GB 50010)
- [2] 《岩土工程勘察规范》(GB 50021)
- [3] 《工程测量规范》(GB 50026)
- [4] 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》(GB 50202)
- [5] 《盾构法隧道施工及验收规范》(GB 50446)
- [6] 《建筑基坑工程监测技术标准》(GB 50497)
- [7] 《地下水监测工程技术规范》(GB/T 51040)
- [8] 《爆破安全规程》(GB 6722)
- [9] 《运输机场运行安全管理规定》(CCAR-140-R2)
- [10] 《易折易碎杆塔通用技术要求及检测规范》(AC-137-CA-2014-01)
- [11] 《民用机场助航灯光系统运行维护规程》(AP-140-CA-2009-1)
- [12] 《民用航空通信导航监视台(站)设置场地规范》(MH/T 4003.1—2021)
- [13] 《民用机场飞行区技术标准》(MH 5001)
- [14] 《民用机场飞行区场道工程质量检验评定标准》(MH 5007)
- [15] 《民用机场道面评价管理技术规范》(MH/T 5024)
- [16] 《民用机场勘测规范》(MH/T 5025)
- [17] 《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)
- [18] 《民用机场高填方工程技术规范》(MH/T 5035)
- [19] 《民用机场填海工程技术规范》(MH/T 5060)
- [20] 《民用机场飞机荷载桥梁设计指南》(MH/T 5063)
- [21] 《民用机场飞机荷载桥梁结构监测技术规范》(MH/T 5088)
- [22] 《民用机场道面现场测试规程》(MH/T 5110)
- [23] 《公路桥梁技术状况评定标准》(JTG/T H21)
- [24] 《建筑变形测量规范》(JGJ 8)
- [25] 《地下水环境监测技术规范》(HJ 164)
- [26] 《公路桥梁结构监测技术规范》(JT/T 1037)
- [27] 《梁式桥结构监测技术规程》(T/CECS G: Q31-01)