

UDC

中华人民共和国行业标准

**MH**

P

MH/T 5027—2013

---

# 民用机场岩土工程设计规范

Code for Geotechnical Engineering Design of Airport

2013 - 09 - 24 发布

2014 - 01 - 01 施行

---

中国民用航空局 发布

中华人民共和国行业标准

# 民用机场岩土工程设计规范

Code for Geotechnical Engineering Design of Airport

**MH/T 5027—2013**

主编部门：中国民航机场建设集团公司

批准部门：中国民用航空局

施行日期：2014年01月01日

中国民航出版社

2013 北京

图书在版编目 (CIP) 数据

民用机场岩土工程设计规范/中国民航机场建设集团公司主编. —北京: 中国民航出版社, 2013. 10  
ISBN 978-7-5128-0145-5

I. ①民… II. ①中… III. ①民用机场-岩土工程-建筑设计-规范-中国 IV. TU248.6-65

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 244417 号

责任编辑: 王迎霞

中华人民共和国行业标准  
民用机场岩土工程设计规范

MH/T 5027—2013

中国民航机场建设集团公司 主编

---

出版 中国民航出版社  
地址 北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼 (100028)  
排版 中国民航出版社照排室  
印刷 北京金吉士印刷有限责任公司  
发行 中国民航出版社 (010) 64297307 64290477  
开本 880 × 1230 1/16  
印张 5  
字数 115 千字  
版本 2013 年 10 月第 1 版 2013 年 10 月第 1 次印刷

---

书号 ISBN 978-7-5128-0145-5  
定价 68.00 元

(如有印装错误, 本社负责调换)

# 关于发布《民用机场岩土工程设计规范》的通知

民航发〔2013〕82号

民航各地区管理局，各有关建设、设计、勘察、监理、施工、咨询单位：

为规范民用机场岩土工程设计，我局组织制定了《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027—2013），现予发布，自2014年1月1日起施行。

该规范由中国民用航空局负责管理和解释。中国民航机场建设集团公司负责该规范的日常管理工作。请各有关单位在实践中注意总结经验，及时将发现的问题和修改意见函告中国民航机场建设集团公司科技质量部（北京市朝阳区北四环东路111号，邮编：100101）。

本标准由中国民航出版社出版发行。

中国民用航空局

2013年9月24日

抄送：民航各监管局，各机场公司。



# 前 言

为了适应民用机场建设发展的需要，统一民用机场岩土工程设计技术标准，受中国民用航空局机场司委托，编制本规范。编制组深入调研，认真总结和吸收了二十年来我国民用机场岩土工程设计成果和工程建设经验，在编制过程中参考了国内外有关技术规范和资料，并广泛征求意见和进行多次专家审查，经反复讨论和修改后报批定稿。

本规范的主要技术内容包括 9 章：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.设计指标；5.岩土工程设计计算；6.场地平整；7.飞行区特殊性岩土；8.飞行区不良地质作用；9.专项工程设计。

本规范主编单位：中国民航机场建设集团公司

本规范参编单位：建设综合勘察研究设计院有限公司

上海民航新时代机场设计研究院有限公司

同济大学

武汉大学

本规范主要起草人员：李 强 张合青 韩黎明 姚荣学 王孝存 马新岩  
孔 愚 王广德 周正飞 周载阳 李军世 徐 超  
刘祖德 邹 勇

本规范主要审查人员：顾宝和 张苏民 蒋作舟 沈小克 王恭先 卢永金  
蒋忠信 凌建明 董永恭 姜昌山 王列平 高文生  
陈上明 朱森林 马志刚 廖志高 郑 斐 沈自力



# 目 次

<b>1</b>	<b>总则</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>术语和符号</b>	<b>2</b>
2.1	术语	2
2.2	符号	4
<b>3</b>	<b>基本规定</b>	<b>5</b>
<b>4</b>	<b>设计指标</b>	<b>7</b>
4.1	一般规定	7
4.2	地基沉降变形指标	7
4.3	边坡稳定性指标	8
4.4	地基设计控制指标	9
<b>5</b>	<b>岩土工程设计计算</b>	<b>11</b>
5.1	一般规定	11
5.2	变形计算	11
5.3	稳定性计算	12
<b>6</b>	<b>场地平整</b>	<b>16</b>
6.1	一般规定	16
6.2	挖方及土石方调配	16
6.3	排水	17
6.4	飞行区道面影响区、飞行区土面区和填方边坡稳定影响区	17
6.5	航站区及工作区	18
6.6	预留发展区	19
<b>7</b>	<b>飞行区特殊性岩土</b>	<b>20</b>
7.1	一般规定	20
7.2	软弱土	20
7.3	湿陷性黄土	21
7.4	膨胀土	23
7.5	盐渍土	24
7.6	冻土	25
7.7	填土	26



<b>8 飞行区不良地质作用 .....</b>	<b>27</b>
8.1 一般规定 .....	27
8.2 岩溶 .....	27
8.3 滑坡 .....	28
8.4 液化 .....	30
8.5 采空区 .....	31
<b>9 专项工程设计 .....</b>	<b>32</b>
9.1 一般规定 .....	32
9.2 飞行区不停航施工工程.....	32
9.3 高填方工程.....	32
9.4 填海工程 .....	34
<b>附录 A 道基反应模量试验方法 .....</b>	<b>36</b>
<b>附录 B 加州承载比试验方法 .....</b>	<b>39</b>
<b>附录 C 本规范用词用语说明 .....</b>	<b>46</b>
<b>附录 D 规范性引用文件 .....</b>	<b>47</b>
<b>条文说明 .....</b>	<b>48</b>
1 总则 .....	48
2 术语和符号 .....	48
3 基本规定 .....	49
4 设计指标 .....	51
5 岩土工程设计计算.....	55
6 场地平整 .....	57
7 飞行区特殊性岩土.....	57
8 飞行区不良地质作用.....	64
9 专项工程设计.....	66

# 1 总则

**1.0.1** 为规范民用机场岩土工程设计，本着安全适用、技术先进、经济合理、确保质量、节约资源、保护环境的原则，制定本规范。

**1.0.2** 本规范适用于新建和改（扩）建民用机场（含军民合用机场民用部分）的岩土工程设计。

**1.0.3** 民用机场岩土工程设计应综合考虑场地分区，因地制宜、就地取材，并提倡采用新技术、新材料和新工艺。

**1.0.4** 民用机场岩土工程设计应满足环境评价等要求，减少对生态环境的不良影响，防止水土流失和次生地质灾害。

**1.0.5** 民用机场岩土工程设计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

#### I 机场工程术语

##### 2.1.1 机场 airport

在陆地上或水面上划定的区域（包括各种建筑物、装置和设施），其全部或部分可供飞机起飞、着陆和地面活动使用。

##### 2.1.2 飞行区 airfield area

供飞机起飞、着陆、滑行和停放使用的场地，包括跑道、升降带、跑道端安全区、滑行道、机坪以及机场周边对障碍物有限制要求的区域。

##### 2.1.3 航站区 terminal area

机场陆、空交换区域陆侧部分的统称，包括航站楼（候机楼）、管制中心、停车楼（场）、航站楼交通及服务设施等。

##### 2.1.4 工作区 appurtenant building area

除飞行区、航站区外，机场其他区域的统称，包括机场办公区、综合保障区、机场货运区、生活服务区等。

##### 2.1.5 飞行区道面影响区 affected area of pavement in airfield area

飞行区内道面（包括道肩）下与其变形有相互影响的一定地基范围。

##### 2.1.6 飞行区土面区 unpaved area in airfield area

飞行区道面影响区以外的其他飞行区。

##### 2.1.7 填方边坡稳定影响区 area affecting fill slope stability

对填方边坡的稳定性有影响的区域。

##### 2.1.8 道床 pavement bed

道面底面以下 0.80m 范围内的道基部分，分上道床（0m~0.30m）和下道床（0.30m~0.80m）两部分。

## II 岩土工程术语

### 2.1.9 岩土工程 geotechnical engineering

土木工程中涉及岩石、土的利用、处理或改良的科学技术。

### 2.1.10 道基 subgrade

道面下受道面传递飞机或车辆荷载影响的天然或人工填筑土（岩）体。

### 2.1.11 地基 foundation

承受建（构）筑物荷载的天然或人工填筑的土（岩）体。

### 2.1.12 填筑体 filling body

原地面至道基顶面或场地平整设计面人工填筑的土石方。

### 2.1.13 工后沉降 post-construction settlement

道面施工完成后设计使用年限内道面产生的沉降。

### 2.1.14 工后差异沉降 post-construction differential settlement

相邻沉降计算点或监测点工后沉降差值的绝对值与其水平距离之比。

### 2.1.15 施工期沉降 settlement during construction period

自地基处理或土石方施工开始至道面施工完成时，地基产生的沉降。

### 2.1.16 道基反应模量 subgrade reaction modulus

由道基反应模量试验测定的一定面积所受到的压强（荷载）与变形的比值。

### 2.1.17 特殊性岩土 special soils

具有特殊物质成分、结构和独特工程特性的岩土。本规范包括软弱土、湿陷性黄土、膨胀土、盐渍土、冻土等。

### 2.1.18 软弱土 weak soil

软塑和流塑的粘性土及饱和松散粉土。

### 2.1.19 不良地质作用 adverse geologic actions

由地球内力或外力产生的对工程可能造成危害的地质作用。本规范包括岩溶、滑坡、液化等。

### 2.1.20 高填方工程 high filling project

山区或丘陵地区机场最大填方高度或填方边坡高度（坡顶至坡脚高差）大于等于 20m 的工程。

### 2.1.21 填海工程 sea reclamation project

在海域或滩涂内建设机场，通过人工围填方式形成场地的工程。

### III 设计术语

#### 2.1.22 机场岩土工程设计 geotechnical engineering design for airport

按照机场建设要求，对机场建设所涉及的岩土工程问题进行分析、论证，编制设计文件的活  
动。

#### 2.1.23 场地平整 site formation

按照一定技术要求，将天然的原地面改造成工程所需工作面的过程。

#### 2.1.24 地势设计 topography design

按照一定技术要求，确定机场场地平整设计面的活动，也称竖向设计。

#### 2.1.25 动态设计法 method of information design

根据信息施工和施工勘察反馈的资料，对设计参数和设计方案进行验证、优化和完善的设计  
方法。

## 2.2 符号

### 2.2.1 岩土物理性质

$e$ ——孔隙比；

$\gamma$ ——重力密度，简称“重度”。

### 2.2.2 岩土变形参数

$C_s$ ——回弹指数；

$C_c$ ——压缩指数；

$p_c$ ——先期固结压力。

### 2.2.3 岩土强度参数

$c$ ——粘聚力；

$\varphi$ ——内摩擦角；

$CBR$ ——加州承载比。

### 2.2.4 其他符号

$F_s$ ——边坡稳定安全系数；

$k_0$ ——道基反应模量；

$s$ ——沉降量。

### 3 基本规定

**3.0.1** 岩土工程设计前应取得下列资料：

- 1 场地分区和地势设计资料；
- 2 岩土工程勘察资料；
- 3 当地岩土工程治理的经验和施工条件等资料。

**3.0.2** 机场岩土工程设计等级划分，应根据场地复杂程度和地基等级按表 3.0.2 确定。

表 3.0.2 机场岩土工程设计等级划分

确定岩土工程设计等级的条件		岩土工程设计等级
场地复杂程度	地基等级	
一级场地（复杂场地）	一级、二级、三级	甲级
二级场地（中等场地）、三级场地（简单场地）	一级	
二级场地（中等场地）	二级、三级	乙级
三级场地（简单场地）	二级	
三级场地（简单场地）	三级	丙级

注：场地复杂程度、地基等级划分按《民用机场勘测规范》MH/T 5025 执行。

**3.0.3** 机场岩土工程设计可分为方案设计、初步设计和施工图设计三个阶段。根据实际情况，在初步设计后可增加技术设计。

- 1 岩土工程方案设计应结合当地经验进行多方案比较，形成技术方案研究报告。
- 2 岩土工程初步设计应在方案设计的基础上进行设计方案比选，确定设计方案和技术经济指标。
- 3 岩土工程技术设计应在初步设计的基础上，基于现场试验或专项研究成果进行，解决初步设计尚未完全解决的重大、复杂的技术问题，提出优化的设计方案和技术经济指标。
- 4 岩土工程施工图设计应在初步设计或技术设计的基础上进行，提出施工设计参数和施工技术要求。

**3.0.4** 岩土工程设计等级为甲级的机场，应采用动态设计法；岩土工程设计等级为乙级的机场，宜采用动态设计法。动态设计适用于施工阶段，应以完整的施工图设计为基础。

**3.0.5** 根据机场建设项目的特点和总平面规划图，可按表 3.0.5 进行场地分区。

表 3.0.5 场地分区

分 区	范 围
飞行区道面影响区	道肩两侧各外延 1m~3m 的范围，填方区尚需以 1:0.6~1:0.4 向两侧放坡至原地面
飞行区土面区	飞行区内飞行区道面影响区以外的区域，不包括填方边坡稳定影响区
航站区	包括航站楼（候机楼）、管制中心、停车楼（场）、航空交通及服务设施等的区域
工作区	包括机场办公区、综合保障区、机场货运区、生活服务区等
预留发展区	场地平整范围内预留的规划发展区域
填方边坡稳定影响区	根据填方高度和天然地基的实际条件，通过具体分析确定

注：飞行区道面影响区填方区道肩外向两侧放坡坡比，填土为中砂、粗砂、碎石等粗粒土时可取 1:0.6，填土为粉质粘土等细粒土时可取 1:0.4。

**3.0.6** 机场岩土工程设计应进行地基沉降变形和边坡稳定性分析，地基沉降变形或边坡稳定性不满足要求需进行地基处理时，应对处理后的地基进行沉降变形或稳定性验算。

**3.0.7** 岩土工程设计应结合场地分区和场地平整形成的挖方区和填方区，确定地基或填筑体的设计指标、参数和标准。

**3.0.8** 确定岩土工程设计方案时，宜按下列步骤进行：

1 根据岩土工程条件，结合场地分区及功能要求，确定岩土工程设计的目的、范围以及各项技术指标，并通过分析，初步选出几种可供考虑的岩土工程技术方案。

2 对初步选出的岩土工程技术方案，从技术可靠性、可实施性、造价、工期要求以及对环境影响等方面进行综合技术经济分析，确定岩土工程设计方案。

**3.0.9** 岩土工程设计等级为甲级的机场，应开展现场试验，并进行专项研究；岩土工程设计等级为乙级的机场，宜开展现场试验；岩土工程设计等级为丙级的机场，宜进行工艺性施工试验。开展现场试验应进行试验设计，提出设计参数、施工技术要求和检测要求，根据实际情况提出监测要求。

**3.0.10** 岩土工程设计应提出岩土工程检测和监测要求，检测和监测的范围、内容和时间等宜根据岩土工程设计内容及岩土工程设计等级确定。

**3.0.11** 岩土工程设计应根据实际情况设置地表及内部排水系统。

**3.0.12** 岩土工程设计应考虑穿越机场的市政、交通等工程的影响，并对穿越工程提出技术要求。

## 4 设计指标

### 4.1 一般规定

**4.1.1** 民用机场岩土工程设计指标应包括地基沉降变形指标、边坡稳定性指标、地基设计控制指标以及其他特性指标。

**4.1.2** 民用机场岩土工程设计指标应根据场地自然条件、工程地质条件、水文地质条件、地震条件、场地分区、使用荷载和当地经验，综合研究，合理确定。

### 4.2 地基沉降变形指标

**4.2.1** 飞行区道面影响区和飞行区土面区，设计使用年限内的工后沉降和工后差异沉降不宜大于表 4.2.1 的规定。

表 4.2.1 工后沉降和工后差异沉降

场地分区		工后沉降 (m)	工后差异沉降 (‰)
飞行区道面影响区	跑道	0.2~0.3	沿纵向 1.0~1.5
	滑行道	0.3~0.4	沿纵向 1.5~2.0
	机坪	0.3~0.4	沿排水方向 1.5~2.0
飞行区土面区		应满足排水、管线和建筑等设施的使用要求	

注：1 工后差异沉降的度量水平距离为 50m。

2 对于跑道和滑行道，当为软弱土地基时，可取表中高值；当为高填方地基时，填筑级配良好的碎石土可取表中低值，填筑细粒土或软弱土地基可取表中高值。

3 对于机坪，当面积大于 20000m<sup>2</sup> 时，可取表中低值；当面积小于或等于 20000m<sup>2</sup> 时，可取表中高值。

**4.2.2** 飞行区道面影响区和飞行区土面区以外其他场地分区的沉降变形应符合国家现行有关技术标准的规定。



### 4.3 边坡稳定性指标

4.3.1 边坡稳定性分析的强度参数，应根据填料及地基土代表性土样的室内试验及现场情况确定。填方边坡稳定性分析强度参数  $c$ 、 $\varphi$  值宜采用表 4.3.1 的试验方法确定。

表 4.3.1 填方边坡稳定性分析采用的强度参数试验方法

位 置	施工期	运行期	备 注
填筑体部分	三轴不排水剪切试验、直接剪切快剪试验	三轴固结不排水剪切试验、直接剪切固结快剪试验	可能被地下水浸没部分应采用饱水试件进行试验
天然地基部分	三轴固结不排水剪切试验、直接剪切固结快剪试验		对薄弱或软弱土层宜采用三轴不排水剪切试验或直接剪切快剪试验；可能被地下水浸没部分应采用饱水试件进行试验

4.3.2 填方边坡稳定安全系数不得小于表 4.3.2 所列数值。强度指标可按本规范第 4.3.1 条确定。

表 4.3.2 填方边坡稳定安全系数

分析项目	计算方法	计算工况	稳定安全系数
填筑体稳定性	简化 Bishop 法、数值分析法	正常条件下	1.30~1.35
		暴雨或连续降雨条件下	1.10~1.20
		地震条件下	1.02~1.05
填筑体与地基整体稳定性	简化 Bishop 法、数值分析法	正常条件下，地基土固结度为 1	1.35~1.40
		正常条件下，地基土按实际固结度	1.30~1.35
		暴雨或连续降雨条件下	1.10~1.20
		地震条件下	1.02~1.05
填筑体与地基整体稳定性 (若沿已知层面滑动)	不平衡推力法、数值分析法	正常条件下	1.25~1.30
		暴雨或连续降雨条件下	1.10~1.20
		地震条件下	1.02~1.05

注：1 表中“正常条件”指不考虑地震、暴雨或连续降雨。

2 粗粒料填筑时，采用线性抗剪强度指标计算按表中取值，采用非线性抗剪强度指标计算应适当提高。

3 边坡高度较大或边坡失稳危害较大时，稳定安全系数取大值。

4.3.3 挖方边坡应符合《民用机场飞行区技术标准》MH5001 关于障碍物限制面的规定，稳定性控制标准可按《公路路基设计规范》JTG D30 关于挖方路基边坡规定执行。

## 4.4 地基设计控制指标

**4.4.1** 飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区应均匀、密实，其他区域应基本均匀、密实，土石方压实指标应符合下列规定：

- 1 一般情况下，土石方压实指标应符合现行民用机场道面设计规范的规定；
- 2 高填方机场土方填筑压实指标应符合表 4.4.1 的规定。

表 4.4.1 高填方机场土方压实指标

部 位		道基顶面或地势设计标高以下深度 (m)	压实度 (%)	
飞行区道面影响区	填方	0~4.0	≥96	
		>4.0	≥95	
	挖方及零填	0~0.3	≥96	
		0.3~0.8	≥94	
飞行区土面区	填方	跑道端安全区	0~0.8	≥90
			>0.8	≥88
		升降带平整区	0~0.8	≥90
			>0.8	≥88
	其他土面区	>0	≥88	
	挖方及零填	跑道端安全区	0~0.3	≥90
		升降带平整区	0~0.3	≥90
		其他土面区	0~0.3	≥88
	航站区	填方	>0	≥93
工作区	填方	>0	≥90	
预留发展区	填方	>0	≥88	
填方边坡稳定影响区	填方	>0	≥93	

注：1 表中深度，对飞行区道面影响区自道基顶面起算，对其他场地分区自地势设计标高起算。

2 表中压实度系按《土工试验方法标准》GB/T 50123 重型击实试验法求得；在多雨潮湿地区或当土质为高液限的粘土时，根据现场实际情况，可将表中的压实度降低 1%~2%。

3 高填方机场土石方填筑压实指标宜采用固体体积率，具体指标由试验或石料性质确定。

4 各场地分区内建（构）筑物的地基压实指标尚应符合国家现行有关技术标准的规定。

4.4.2 道基反应模量 ( $k_0$  值) 宜符合表 4.4.2 的规定。

表 4.4.2 道基反应模量 ( $k_0$  值) 指标

道基土类	$k_0$ 值 (MN/m <sup>3</sup> )
粘性土、细粒土	≥40
粗粒土	≥60
块(碎)石	≥80

4.4.3 道床填料加州承载比 (CBR 值) 应符合表 4.4.3 的规定。

表 4.4.3 道床填料加州承载比 (CBR 值) 指标

填挖类型	道基顶面以下深度 (m)	CBR 值 (%)	
		飞行区指标 II 为 A、B	飞行区指标 II 为 C、D、E、F
填方	0~0.3	≥6	≥8
	0.3~0.8	≥4	≥5
挖方及零填	0~0.3	≥6	≥8
	0.3~0.8	—	≥4

注：飞行区指标划分采用《民用机场飞行区技术标准》MH5001 的规定。

## 5 岩土工程设计计算

### 5.1 一般规定

5.1.1 飞行区岩土工程设计应进行变形计算，涉及边坡的区域应进行稳定性计算。

5.1.2 航站区、工作区和预留发展区场地平整的岩土工程设计，高填方工程应进行稳定性计算，填海工程应进行变形及稳定性计算。

5.1.3 岩土工程设计计算应根据试验和专项研究成果，选取或调整计算参数。

### 5.2 变形计算

5.2.1 飞行区道面影响区天然地基变形计算的荷载应包括填筑体和道面荷载，机坪区域还应考虑飞机及相关附属设施的荷载；航站区、工作区和预留发展区场地平整天然地基变形计算的荷载为填筑体荷载。

5.2.2 地基的最终沉降量可采用分层总和法，按下列公式计算：

$$s = \psi_s s' \quad (5.2.2-1)$$

$$s' = \sum_{i=1}^n \frac{e_{1i} - e_{2i}}{1 + e_{1i}} H_i \quad (5.2.2-2)$$

式中：  $s$  ——地基最终总沉降量（mm）；

$s'$  ——按分层总和法计算得到的地基沉降量（mm）；

$\psi_s$  ——修正系数，应根据沉降观测资料或当地经验确定；当无观测资料或当地经验时，可根据地基土的特点分析确定；

$n$  ——计算深度范围内所划分的土层数；

$H_i$  ——第  $i$  分层土的厚度（mm）；

$e_{1i}$  ——第  $i$  分层土压缩曲线上对应于该层上下层面自重应力平均值的孔隙比；

$e_{2i}$  ——第  $i$  分层土压缩曲线上对应于该层上下层面自重应力与附加应力之和平均值的孔隙比。

5.2.3 对于超固结土及欠固结土，当考虑应力历史对地基变形的影响时，地基土的相关计算参数应由原状土的室内压缩试验确定。

1 对于超固结土层，地基主固结沉降量可按下列公式计算。

$$s' = s_m + s_n \quad (5.2.3-1)$$

$$s_m = \sum_{i=1}^m \frac{H_i}{1 + e_{0i}} \left[ C_{si} \lg \left( \frac{p_{ci}}{p_{1i}} \right) + C_{ci} \lg \left( \frac{p_{1i} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \right] \quad (5.2.3-2)$$

$$s_n = \sum_{j=1}^n \frac{H_j}{1 + e_{0j}} \left[ C_{sj} \lg \left( \frac{p_{1j} + \Delta p_j}{p_{1j}} \right) \right] \quad (5.2.3-3)$$

式中： $s_m$ ——有效应力增量与自重应力之和大于先期固结压力的各分层总沉降量（mm）；

$s_n$ ——有效应力增量与自重应力之和不大于先期固结压力的各分层总沉降量（mm）；

$m$ ——有效应力增量与自重应力之和大于先期固结压力的分层数；

$n$ ——有效应力增量与自重应力之和不大于先期固结压力的分层数；

$H_i$ 、 $H_j$ ——分别为第  $i$  和第  $j$  分层土的厚度（mm）；

$e_{0i}$ 、 $e_{0j}$ ——分别为第  $i$  和第  $j$  分层土的初始孔隙比；

$C_{si}$ 、 $C_{sj}$ ——分别为第  $i$  和第  $j$  分层土的回弹指数；

$C_{cj}$ ——第  $j$  分层土的压缩指数；

$p_{1i}$ 、 $p_{1j}$ ——分别为第  $i$  和第  $j$  分层土的自重应力（kPa）；

$p_{ci}$ ——第  $i$  分层土的先期固结压力（kPa）；

$\Delta p_i$ 、 $\Delta p_j$ ——分别为第  $i$  和第  $j$  分层土的有效应力增量（kPa）。

2 对于欠固结土层，地基主固结沉降量可按式（5.2.3-4）计算。

$$s' = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 + e_{0i}} \left[ C_{ci} \lg \left( \frac{p_{1i} + \Delta p_i}{p_{ci}} \right) \right] \quad (5.2.3-4)$$

式中： $n$ ——土的分层数。

**5.2.4** 对于软土地基，地基变形计算深度可取至下伏岩层、坚硬粘土层或密实砂卵石层顶面；对于非软土地基，地基变形计算深度可按照附加应力沿深度不衰减的条件，取至附加应力等于上覆土层自重应力 10% 的深度。

**5.2.5** 对于饱和粘性土地基的工后沉降计算，可根据施工完成时地基土的固结度推算。对于非饱和土及其他情况下地基的工后沉降计算，可根据当地经验估算，无地区经验时宜进行专项研究。

## 5.3 稳定性计算

**5.3.1** 对于机场工程所涉及的边坡，应在岩土工程勘察的基础上，分析判断边坡破坏模式、滑动类型与潜在滑裂面位置，合理选择稳定性分析方法和计算参数，采用定性分析与定量计算相结合的方法，综合判断边坡稳定性。

**5.3.2** 机场工程边坡的稳定性计算可采用极限平衡法，边坡稳定性应符合本规范第 4.3 节的规定。分析计算方法可根据边坡坡体岩土类型和特点、可能存在的破坏模式等按照下列原则确定：

- 1 土质边坡或破碎岩质边坡的稳定性分析，可采用简化 Bishop 法；
- 2 当边坡坡体可能沿斜坡地基或岩体结构面发生平面滑动时，可采用平面滑动法；
- 3 当边坡坡体可能沿斜坡地基或软弱结构面及其组合等折线型滑动面滑动时，可采用不平衡推力法；
- 4 对岩质边坡，可配合采用极射赤平投影法和实体比例投影法；当边坡破坏机制复杂时，宜辅以数值分析法评价边坡的稳定性。

**5.3.3** 分析边坡稳定性时，对抗震设防烈度为 VI 度及 VI 度以上地区的使用期限超过一年的边坡应进行地震工况边坡稳定性校核。可采用拟静力法计算分析水平地震加速度对边坡稳定的影响。

**5.3.4** 当边坡可能存在多个滑动面时，应对各个可能的滑动面进行稳定性计算。当滑动面上岩土体性质及地质条件有明显变化时，应根据实际条件分段选取强度参数。

**5.3.5** 采用简化 Bishop 法验算填方边坡稳定性时，可按下列公式计算对应潜在滑动面的边坡稳定安全系数  $F_s$ ，计算简图见图 5.3.5。

$$F_s = \frac{\sum \frac{K_i}{m_{ai}}}{\sum (W_i + Q_i) \sin \alpha_i} \quad (5.3.5-1)$$

$$m_{ai} = \cos \alpha_i + \frac{\tan \varphi_i \sin \alpha_i}{F_s} \quad (5.3.5-2)$$

式中： $W_i$ ——第  $i$  土条岩土体的重力 (kN/m)，当部分土条在地下水位以下时，采用浮重度计算；

$Q_i$ ——第  $i$  土条上作用的竖向荷载 (kN/m)；

$K_i$ ——根据第  $i$  土条底面滑弧所处位置按式 (5.3.5-3) 或 (5.3.5-4) 计算；

$\varphi_i$ ——第  $i$  土条底面滑弧处的内摩擦角 (°)；

$\alpha_i$ ——第  $i$  土条底面滑弧中点切线与水平面的夹角 (°)。

当第  $i$  土条底面滑弧位于天然地基中时，

$$K_i = c_{di} b_i + W_{di} \tan \varphi_{di} + U(W_i + Q_i) \tan \varphi_{di} \quad (5.3.5-3)$$

式中： $c_{di}$ 、 $\varphi_{di}$ ——分别为第  $i$  土条底面滑弧处天然地基土的粘聚力 (kPa) 和内摩擦角 (°)，其取值应符合本规范第 4 章相关规定；

$b_i$ ——第  $i$  土条宽度 (m)；

$W_{di}$ 、 $W_i$ ——分别为第  $i$  土条内天然地基和填筑体的重力 (kN/m)，地下水位以下部分采用浮重度计算；

$U$ ——天然地基的固结度。

当第  $i$  土条底面滑弧位于填筑体中时，

$$K_i = c_{ti} b_i + (W_{ti} + Q_i) \tan \varphi_{ti} \quad (5.3.5-4)$$

式中：  $c_{ti}$ 、  $\varphi_{ti}$ ——第  $i$  土条底面滑弧处填筑体的粘聚力 (kPa) 和内摩擦角 ( $^{\circ}$ )。

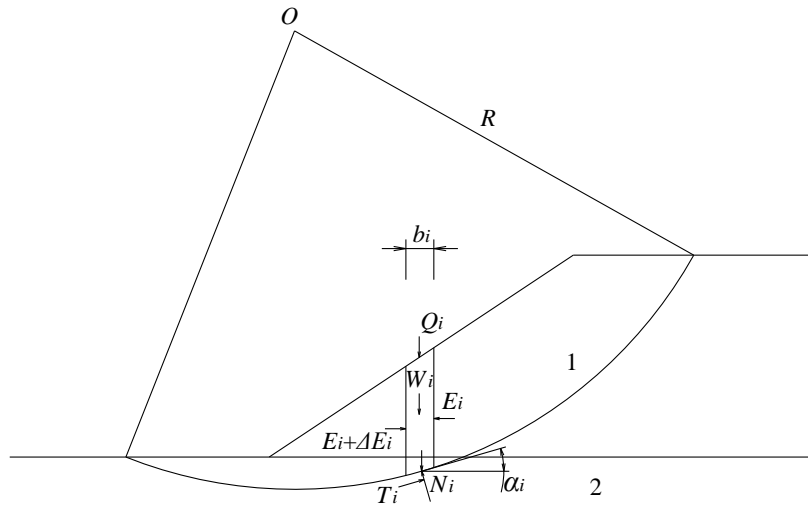


图 5.3.5 简化 Bishop 法计算简图

1—填筑体；2—天然地基

**5.3.6** 采用平面滑动法验算边坡稳定性时，边坡稳定安全系数  $F_s$  可按式 (5.3.6) 计算。

$$F_s = \frac{Ac + \gamma V \cos \alpha \tan \varphi}{\gamma V \sin \alpha} \quad (5.3.6)$$

式中：  $\gamma$ ——边坡坡体岩土的重度 ( $\text{kN}/\text{m}^3$ )；

$V$ ——边坡岩土体的体积 ( $\text{m}^3$ )；

$A$ ——潜在平面滑动面的面积 ( $\text{m}^2$ )；

$\alpha$ ——潜在平面滑动面与水平面的夹角 ( $^{\circ}$ )；

$c$ 、 $\varphi$ ——潜在滑动面的粘聚力 (kPa) 和内摩擦角 ( $^{\circ}$ )。

**5.3.7** 采用不平衡推力法验算边坡稳定性时，应按各滑动面物质组成和含水状态，合理确定各条滑动面的强度参数，并按下列公式逐条计算剩余推力，直到第  $n$  条（最后一个条块）的剩余推力等于零，以此确定边坡稳定安全系数  $F_s$ 。计算简图见图 5.3.7。

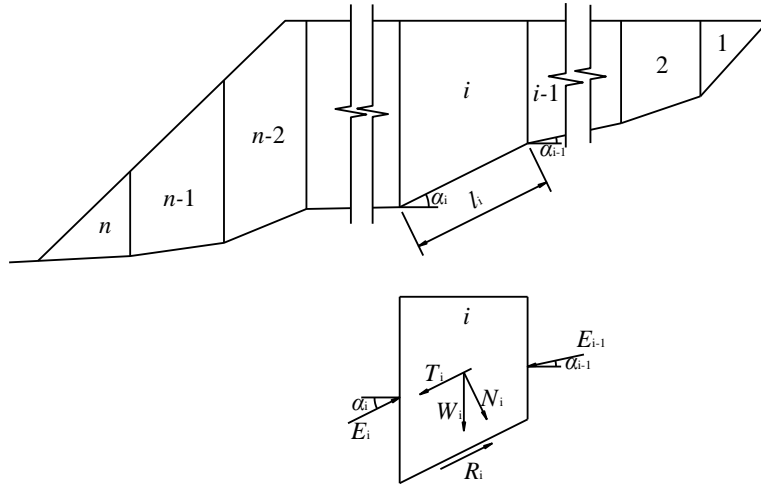


图 5.3.7 不平衡推力法计算简图

$$E_i = W_i \sin \alpha_i - \frac{1}{F_s} (c_i l_i + W_i \cos \alpha_i \tan \varphi_i) + E_{i-1} \psi_{i-1} \quad (5.3.7-1)$$

$$\psi_{i-1} = \cos(\alpha_{i-1} - \alpha_i) - \frac{\tan \varphi_i}{F_s} \sin(\alpha_{i-1} - \alpha_i) \quad (5.3.7-2)$$

式中：  $E_i$ ——第  $i$  土条的剩余推力 (kN/m)；

$W_i$ ——第  $i$  土条滑动面之上岩土自重与外部竖向荷载之和 (kN/m)；

$\alpha_i$ ——第  $i$  土条滑动面与水平面的夹角 (°)；

$l_i$ ——第  $i$  土条滑动面的长度 (m)；

$c_i$ 、 $\varphi_i$ ——第  $i$  土条滑动面的粘聚力 (kPa) 和内摩擦角 (°)；

$\psi_{i-1}$ ——第  $i-1$  土条对第  $i$  土条的推力传递系数。

**5.3.8** 当边坡内存在地下水渗流作用时，稳定性计算应考虑渗流的影响。



## 6 场地平整

### 6.1 一般规定

**6.1.1** 场地平整应满足场地分区对地基的要求。

**6.1.2** 场地平整应遵循下列基本原则：

- 1 应满足场地分区建（构）筑物对地形、标高、坡度、填料及强度等要求；
- 2 应顺应自然地形，减少土石方数量，宜做到挖填平衡，就近调配，并减少对生态环境的不良影响；
- 3 平整后的场地地势应有利于排水和防洪，并与周边的道路等设施相衔接，标高尚应考虑与远期规划区的衔接。

**6.1.3** 高填方工程和填海工程场地平整尚应符合本规范第 9.3 节和第 9.4 节的规定。

### 6.2 挖方及土石方调配

**6.2.1** 场区内开挖的土石方，应根据各场地分区对填筑的要求合理调配。

**6.2.2** 场地平整后宜对挖方区进行必要的勘察，查明地基是否存在特殊性岩土和不良地质作用。

**6.2.3** 飞行区道面影响区为挖方时，处理应符合下列规定：

- 1 道基设计顶面开挖出露岩石时，宜超挖并回填碎石作为褥垫层，超挖厚度不宜小于 500mm，碎石的固体体积率不宜小于 83%；
- 2 道基设计顶面开挖出露特殊性岩土或受不良地质作用影响时，应按本规范第 7 章和第 8 章的要求处理。

**6.2.4** 飞行区土面区为挖方时，对设计顶面开挖出露的岩石，宜超挖并回填满足植被生长的填土，超挖厚度不宜小于 200mm。

**6.2.5** 植物土可作为绿化区域的填料。

## 6.3 排水

**6.3.1** 场地平整应做好原地基排水、填筑体内部排水、坡面排水和临时排水等设计。

**6.3.2** 场地平整时，对地下水应做好原地基排水，以疏为主，确保排水畅通；可设盲沟、截水沟或涵洞将地下水引至场外。

**6.3.3** 填筑体内宜根据填料情况设置水平排水层，填方边坡稳定影响区应设置填筑体内部排水系统，并与坡面排水相衔接。填料透水性较好时可不设填筑体内部排水系统。

**6.3.4** 坡面排水应包括截水沟、排水沟、跌水和急流槽等，并结合地形、原有水系和机场排水系统合理布设，防止出现堵塞、漫溢、渗漏、淤积、冲刷和冻结等现象。

**6.3.5** 场地平整时应做好临时排水，满足地下水、地表水等的排放要求，有条件时应结合机场的永久性排水设施设置。

**6.3.6** 高寒地区机场应采取措施防止涎流冰。

## 6.4 飞行区道面影响区、飞行区土面区和填方边坡稳定影响区

**6.4.1** 飞行区道面影响区、飞行区土面区和填方边坡稳定影响区的场地平整应符合下列基本要求：

- 1 飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区的地基应均匀、密实和稳定；
- 2 飞行区土面区的地基应基本均匀、密实和稳定；
- 3 飞行区道面影响区、飞行区土面区的地基沉降变形、地（道）基强度以及压实度应符合本规范第 4 章的要求；
- 4 填方边坡稳定影响区的稳定性应符合本规范第 4.3 节的要求。

**6.4.2** 飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区的原地面处理应符合下列要求：

- 1 在土石方填筑前，应首先将该区域内的不良土质清除干净，如：植物土、淤泥、树丛、树根、生活垃圾、建筑垃圾等。有特殊性岩土和不良地质作用时，应进行处理。
- 2 飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区内的沟、坑、塘等应进行处理。首先应疏干积水，清除淤泥，开挖台阶，然后回填土石方，压实标准应与周边原状土相协调，满足地基均匀性要求。
- 3 土石方填筑前应对原地面进行压实，压实度（重型）应不小于 93%。
- 4 原地面横坡缓于 1：5 时，在满足第 1、2 款条件后，可直接在天然地面上填筑土石方。
- 5 原地面横坡为 1：5~1：2.5 时，应挖台阶，台阶宽度不宜小于 2m，台阶高宽比不宜大于 1：2，台阶顶面向内倾斜，并满足压实要求。当基岩面上的覆盖层较薄时，宜先清除覆盖层再挖台阶；当覆盖层较厚且稳定时，可予保留。

6 原地面横坡陡于 1:2.5 时, 应验算地基整体稳定性, 稳定安全系数不小于本规范表 4.3.2 的规定值, 否则应采取改善地基条件或设置支挡结构物等防滑措施。

**6.4.3** 飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区的土石方填筑应符合下列要求:

1 应优先选用碎石土、砂土等粗粒土作为填料, 不得使用不良填料, 如: 泥炭、淤泥、植物土、生活垃圾、冻土以及液限大于 50%、塑性指数大于 26 的细粒土等。当采用细砂、粉砂作填料时, 应考虑振动液化的影响。

2 填料最大粒径应结合填筑工艺确定, 级配应良好。

3 填筑工艺应根据填料开挖难易程度和现场试验确定。

**6.4.4** 飞行区土面区原地面地基处理及土石方填筑, 应符合下列要求:

1 飞行区土面区内的沟、坑、塘等可不进行特殊处理, 但应排除积水、晾干淤泥。对影响场地稳定的沟、塘、坑、洞等应进行处理。

2 飞行区土面区填方区的植物土可不挖除, 但应清除植物及其根系(树根、草丛和稻根等)。

3 除跑道端安全区和升降带平整区设计高程下 200mm 深度外, 有机质土(泥炭、淤泥、植物土、腐殖土等)以及膨胀土、盐渍土等可作为填土。不同类土不宜混填, 并应满足压实要求。

4 石方或土石混合料填筑接近设计高程时, 距设计高程 200mm 内不宜采用夹有石块的土填筑。

**6.4.5** 遇填挖交界、土岩组合地基、土石方填筑与结构物结合处时, 应注意变形协调。

## 6.5 航站区及工作区

**6.5.1** 航站区及工作区的场地平整应符合下列基本要求:

1 应基本均匀、密实和稳定, 压实指标应符合本规范第 4.4.1 条的规定;

2 应为其上建(构)筑物提供良好且适宜的地基条件。

**6.5.2** 航站区及工作区的原地面处理可参照本规范第 6.4.2 条要求执行。

**6.5.3** 航站区及工作区的土石方填筑应符合下列要求:

1 航站区及工作区中的道路、停车场可参照本规范第 6.4.3 条要求执行。

2 航站区及工作区中的建筑物分布区, 应避免使用影响后续地基基础施工的填料, 如大块石等。

## 6.6 预留发展区

**6.6.1** 预留发展区的场地平整应满足该区域未来建（构）筑物对原地面和填料的要求。

**6.6.2** 预留发展区未来作为飞行区道面影响区或填方边坡稳定影响区时，宜参照本规范第 6.4.2 条和第 6.4.3 条的要求，未来建设时还应重新勘察，进行二次处理；当该区域未来作为飞行区土面区时，宜参照第 6.4.4 条的要求；当该区域未来作为航站区及工作区时，宜参照本规范第 6.5 节的要求。预留发展区的填筑应为未来建设创造条件。

## 7 飞行区特殊性岩土

### 7.1 一般规定

**7.1.1** 飞行区存在特殊性岩土时，应按照《民用机场勘测规范》MH/T 5025 的规定查明特殊性岩土的成因类型、工程性质、分布范围等，根据飞行区对地基的要求和天然地基条件确定地基处理方案。

**7.1.2** 飞行区特殊性岩土场地应选取具有代表性的位置进行现场地基处理试验。

**7.1.3** 飞行区特殊性岩土地基处理设计时，应根据技术、经济、工期和环境影响等进行方案比选，并通过现场地基处理试验确定地基处理的适用工艺和设计参数。

### 7.2 软弱土

**7.2.1** 飞行区存在软弱土时，应根据软弱土特性、分布范围、埋藏深度与厚度、土层排水条件，以及场地环境、工况等因素，结合当地软弱土地基处理经验，因地制宜，确定地基处理方案。

**7.2.2** 软弱土地基设计应进行沉降计算，工后沉降和工后差异沉降应符合本规范第 4.2.1 条的规定。

**7.2.3** 软弱土地基进行开挖、填筑、堆载等涉及稳定问题的作业时，应进行稳定性验算，稳定安全系数应符合本规范第 4.3 节的要求。

**7.2.4** 当软弱土地基变形、强度或稳定性不满足要求时，应进行地基处理。

1 对渗透性好或采取措施可降低含水率的地基，宜采用重锤夯实、强夯、冲击碾压、振动压实等机械压（夯）实浅层处理方法，处理有效深度宜通过现场试验确定。

2 对较厚淤泥和淤泥质土地基，宜采用预压排水固结处理方法，预压荷载宜大于设计荷载，预压时间应根据排水通道设置、预压荷载大小及地基固结情况等综合确定，并应考虑预压荷载和堆载速率对堆载效果、场地稳定和周围建筑物的影响。

3 当地基处理需设置垫层或采用换填法时，垫层或换填材料应采用性能稳定、无侵蚀性的材料，如：中砂、粗砂、砾砂、角（圆）砾、碎（卵）石、矿渣、灰土、轻质材料等。

4 局部软弱土层以及暗塘、暗沟等可采用换填、复合地基或其他方法处理。

**7.2.5** 单一地基处理方法无法满足沉降与稳定性要求时，可多种处理方法组合使用，并注意不

同处理方法区段间的过渡衔接。

**7.2.6** 软弱土地基处理检测应以标准贯入、静力触探、动力触探等原位测试为主，辅以必要的室内试验。

**7.2.7** 软弱土地基处理应结合地基处理方法进行以沉降为主的监测，必要时应进行稳定性监测，监测内容主要包括地表沉降、分层沉降、地表水平位移、深层位移、孔隙水压力等。沉降稳定标准宜根据施加荷载大小、施工工况、预测的总沉降和工后沉降、沉降趋势和速率等因素综合分析确定。

**7.2.8** 采用新技术、新材料、新工艺处理软弱土地基时，应进行分析论证与现场试验。

## 7.3 湿陷性黄土

**7.3.1** 飞行区存在湿陷性黄土时，应进行现场浸水试验，根据湿陷性黄土特性、深度等，研究场地浸水的概率和后果严重程度，利用当地湿陷性黄土的治理经验，综合确定地基处理方案。

**7.3.2** 飞行区道面影响区湿陷性黄土地基处理应符合表 7.3.2 的规定。

表 7.3.2 湿陷性黄土地基处理要求

湿陷等级		地基处理厚度 (m)	剩余总湿陷量 (mm)
I 级		$\geq 1.0$	不宜大于 200
II 级	非自重湿陷	$\geq 2.0$	
	自重湿陷	$\geq 2.5$	
III 级		$\geq 3.0$	
IV 级		$\geq 4.0$	

注：1 湿陷性黄土地基处理应同时满足地基处理厚度和剩余总湿陷量的要求；

2 总湿陷量计算应符合《民用机场勘测规范》MH/T 5025 的规定。

**7.3.3** 湿陷性黄土应采用以地基处理为主的综合治理方法。湿陷性黄土地基处理可按表 7.3.3 选择，可采用一种或多种方法相结合。

表 7.3.3 湿陷性黄土地基处理常用方法

处理方法	适用范围	处理厚度 (m)
冲击碾压法	地下水位以上	0~1.4
换填垫层法	地下水位以上	1~3
强夯法	地下水位以上, 饱和度 $S_r \leq 60\%$ 的湿陷性黄土	3~7
挤密法	地下水位以上, 饱和度 $S_r \leq 65\%$ 的湿陷性黄土	5~15
其他方法	需试验验证	

7.3.4 湿陷性黄土应进行防水和排水设计, 并符合下列要求:

- 1 在雨季进行地基处理及土石方填筑施工时, 应设置临时排水设施;
- 2 在有地下水或地表水活动的地段, 应采取截、排及防治渗漏等措施。

7.3.5 湿陷性黄土填方边坡设计应符合下列规定:

- 1 当填方地基情况良好、边坡高度小于 20m 时, 10m 以下坡率可采用 1:1.5, 10m 以上坡率可采用 1:1.75, 并应在 10m 处设宽 2m~3m 的边坡平台, 边坡平台宜设排水沟, 并作防渗加固处理;
- 2 当填方边坡高度大于等于 20m 时, 应进行专项设计。

7.3.6 湿陷性黄土挖方边坡设计应符合本规范第 4.3.3 条的规定和下列要求:

- 1 挖方边坡形式应根据边坡高度按表 7.3.6 确定, 边坡小平台宽度宜为 2m~2.5m, 边坡大平台宽度应根据稳定性计算确定, 宜为 4m~6m。边坡平台宜设截水沟, 并作防渗加固处理。

表 7.3.6 挖方边坡形式及适用条件

边坡形式	适用条件
直线形 (一坡到底)	$H \leq 15\text{m}$
台阶形 (小平台)	$15\text{m} < H \leq 30\text{m}$ , 每 6m~8m 一级
台阶形 (大平台)	$H > 30\text{m}$ , 大平台设在边坡中部, 其余每 6m~8m 设一级小平台

注:  $H$  为边坡高度。

2 挖方边坡坡率应根据黄土的地貌单元、时代成因、构造节理、地下水分布、降水量、边坡高度、施工开挖方法, 并结合自然或人工稳定边坡坡率和稳定性计算综合分析确定。工程地质、水文地质条件复杂时, 挖方边坡坡率的确定应以工程地质类比法为主。

7.3.7 对影响地基稳定的黄土陷穴应进行处理, 处理方法应根据陷穴埋藏深度及大小确定, 可采用开挖或爆破回填夯实及灌砂、灌浆等方法处理。对流向陷穴的地表水, 应采取拦截引排措施。

7.3.8 湿陷性黄土地基处理或利用黄土进行土方填筑时, 应同时采用原位测试及室内试验进行检测, 原位测试以标准贯入、载荷试验、静力触探等方法为主, 室内试验以测定土的含水率、干密

度、压缩系数和湿陷系数等参数为主。

**7.3.9** 对飞行区道面影响区、填方边坡稳定影响区，利用黄土作为填料进行填筑且填方高度大于等于 10m 时，应进行沉降及位移监测，监测应符合《民用机场勘测规范》MH/T 5025 的规定。

## 7.4 膨胀土

**7.4.1** 飞行区存在膨胀土时，应根据膨胀土的膨胀率、收缩系数和膨胀力等特性，综合考虑气候特点、地形地貌条件、土体水分的变化情况，利用当地膨胀土的处理经验，因地制宜，确定地基处理方案。对强膨胀潜势的膨胀土场地，应进行专项试验研究。

**7.4.2** 飞行区膨胀土地基设计应根据场地地势设计和场地平整情况划分为挖方地基设计、填方地基设计和边坡防护加固设计，应考虑场区经填挖方等土方作业之后的地下水重分布因素，以防水、保湿、防风化为主。

**7.4.3** 膨胀土挖方地基设计应符合下列要求：

1 道床厚度范围的膨胀土应进行超挖，换填非膨胀土、进行土质改良或采取其他适宜的加固措施。对存在强膨胀潜势的膨胀土挖方地基，换填深度应加深至 1.0m~1.5m 且不小于大气影响急剧层深度，并应采取地下水外排或隔断措施。

2 挖方边坡坡率应根据岩土性质、气候特点、水文地质条件以及障碍物限制面等综合确定，挖方边坡设计应结合征地红线遵循缓坡率、宽平台、加固坡脚、加强排水和适宜坡面防护相结合的原则，边坡坡率及平台宽度视边坡的高度和土质可按《公路路基设计规范》JTG D30 设计。

3 围界外侧应设置排水设施，引排地表水和坡面雨水，截流坡顶雨水。

**7.4.4** 膨胀土填方地基设计应符合下列要求：

1 道床厚度范围应采用非膨胀土填筑或进行土质改良，当填方高度小于道床厚度且地基为膨胀土时，宜挖除地表 0.3m~0.6m 的膨胀土，并将道床换填非膨胀土或掺灰处理。地基若为强膨胀潜势的膨胀土，挖除深度应达到大气影响急剧层深度。

2 强膨胀潜势的膨胀土不应作为飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区填料，如无其他填料时，应采取改良措施，并通过现场试验确定。

3 中膨胀潜势或弱膨胀潜势的膨胀土作为飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区填料时，应经改良处理后方可填筑，并采取防水、封闭、坡面防护等措施。

4 膨胀土进行改良处理时宜采用二灰（石灰和粉煤灰）或石灰，最佳掺灰量宜通过室内试验结合现场试验确定，以掺灰后胀缩总率不超过 0.7% 为宜。

5 填方地基的压实工艺可采用碾压、冲击碾压，分层填筑厚度一般为 0.3m~0.8m。压实度应符合本规范第 4.4.1 条的规定。



6 采用弱膨胀潜势及中膨胀潜势的膨胀土填筑地基，其边坡坡率应根据填方边坡的高度、填料重塑后的性质、区域气候特点，并参照既有填方地段的经验综合确定。边坡坡率和边坡平台的设置可按《公路路基设计规范》JTG D30 的规定执行。

**7.4.5** 膨胀土挖方边坡和填方边坡的防护加固可按《公路路基设计规范》JTG D30 的规定执行。

**7.4.6** 膨胀土地基处理过程中，主要检测指标应包括掺灰量、压实度；膨胀土地基处理之后，主要检测指标应包括自由膨胀率、胀缩总率、浸水膨胀量。

## 7.5 盐渍土

**7.5.1** 飞行区存在盐渍土时，应根据盐渍土的分布范围、含盐特征、地下水和地表水情况、盐渍土类型和盐渍化过程，研究和分析可能产生的溶陷（蚀）、盐胀、腐蚀性等病害，利用当地盐渍土病害防治经验，因地制宜，确定地基处理方案。对于盐胀性强盐渍土、超强盐渍土以及溶蚀性盐渍土应进行专项研究。

**7.5.2** 飞行区道面影响区盐渍土地基处理应符合下列要求：

- 1 清除表层的植被、盐壳、腐殖质土、强盐渍土和超强盐渍土。
- 2 过湿地段应排除积水，挖除表层湿土后换填碎石、砾石、砂等粗颗粒土，粗颗粒土含盐量应小于 0.3%。
- 3 填方区道基顶面高出地面、地下水位或地表长期积水位的最小高度，应不低于表 7.5.2 的规定。挖方区地基换填厚度应结合地基盐胀和冻胀深度综合确定，应不小于 1.0m。

表 7.5.2 盐渍土地区道基顶面最小高度

土质类别	高出地面（m）		高出地下水位或地表长期积水位（m）	
	弱、中盐渍土	强、超强盐渍土	弱、中盐渍土	强、超强盐渍土
碎石土	0.8	1.2	2.0	2.2
砂土	1.2	2.0	2.6	2.8
粘性土	2.0	2.6	3.6	4.0
粉土	2.6	3.0	4.2	4.6

注：设置隔断层的道基，其高度不受该表限制。

4 受地表水或地下毛细水影响的道基可设置隔断层，隔断层设计应根据当地材料、道基填方高度及水文地质情况，并进行技术经济比较后确定。隔断层可采用砂、砾石和隔水复合土工膜，应高出地面和地表长期积水位，并延伸到飞行区土面区一定范围。

**7.5.3** 填方边坡稳定影响区坡脚处盐胀病害防治可参照本规范第 7.5.2 条规定处理。

**7.5.4** 盐渍土不宜作为飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区的填料，无其他填料时，应通过试验确定其填筑适用性；飞行区土面区设计高程以下 200mm 内不宜采用盐渍土作为填料。

**7.5.5** 盐渍土地应设置完善的排水设施，并结合当地市政和农田排、灌系统综合考虑。

**7.5.6** 盐渍土地基处理应进行含盐量、压实度等检测；对于盐胀性盐渍土应进行盐胀厚度、总盐胀量检测；对于溶蚀性盐渍土应进行浸水载荷试验检测。

## 7.6 冻土

**7.6.1** 飞行区存在冻土时，应按《民用机场勘测规范》MH/T 5025 对冻土进行定名、分类和冻胀性或融沉性分级，并根据多年冻土分布、地下冰的平面和垂向分布、年平均地温等，结合地形地貌，研究分析可能产生的病害，利用当地冻土治理经验，因地制宜确定处理方案。

**7.6.2** 季节冻土地抗冻措施应采用防水排水、道基填料选取及提高压实标准等。

1 地表和地基防水排水措施可采用截水沟、排水沟、暗沟、渗沟、渗水井和透水隔离层等，渗沟应设检查井，飞行区土面区排水沟不宜采用暗沟。边坡截水沟应采取防止渗水措施以防止冻融滑塌。排水困难时可考虑减少挖方深度或增加填方高度。

2 填方区标准冻深范围内，道床填料应为不冻胀土；道床以下填料宜为不冻胀土和弱冻胀土，当填筑粉砂、粉土和粘性土时，可进行改善处治；强风化软质岩及遇水崩解软化岩石不得用于上道床填筑。挖方区道面下换填垫层应符合现行民用机场道面设计规范的规定。压实标准应符合本规范第 7.6.7 条的规定。

**7.6.3** 多年冻土地地基应根据冻土的类型及年平均气温，采用保护、不保护或破坏的原则设计。设计时应按冻土含冰特征区别对待，并计算融化沉降量和压缩沉降量，以确定设计原则和施工完成前的预留沉降量。少冰冻土、多冰冻土的沉降（融化沉降量和压缩沉降量）不大于本规范表 4.2.1 的规定时，场地地基可按本规范第 6 章设计；富冰冻土、饱冰冻土、含土冰层和不良冻土工程地质的场地地基应进行处理。多年冻土地经验不足时宜进行专项研究。

**7.6.4** 多年冻土地填料及压实度除应符合本规范第 4.4 节、第 6.4 节的规定外，尚应考虑冻结层上水的发育程度及填料的冻胀敏感性，挖方区开挖的高含冰量冻土不得作为飞行区道面影响区填料。道基顶面为碎石土时，应在地面设置防渗层，防渗层顶面横坡应不小于 4%。

**7.6.5** 多年冻土地应采取排除地表水和防止边坡外积水，对有危害的地下水应根据其类型、水量、积水和地层情况采用渗沟、冻结沟、积冰坑、挡冰堤或挡冰墙等措施排除。

**7.6.6** 冻土地区机场建设应注意环境保护，减小对地表植被的破坏，做好地表和内部排水系统，场外取土时远离建（构）筑物，尽量避免外弃土方。

**7.6.7** 冻土地基检测应符合下列规定：

1 季节冻土地区飞行区道面影响区开挖后，应进行检验，当地基留有冻土层时，应检验残留冻土层厚度是否满足要求。道床填土过程中，应分层取样检测压实度，上道床和下道床压实度应分别不小于 98% 和 96%，粒径小于 0.075mm 颗粒含量应不大于 10%。

2 多年冻土地区的基础下设置由粗颗粒非冻胀性砂砾料构成的垫层时，在压实填土过程中，应分层取样检测土的干密度和含水率，其压实度应不小于 96%，对碎石、卵石土，干密度应不低于  $2.0\text{g}/\text{cm}^3$ ，粒径小于 0.075mm 颗粒含量应不大于 15%。

#### **7.6.8 冻土地基监测应符合下列规定：**

1 冻土地基主要监测项目应包括地温场监测和变形监测，地温场监测包括年平均地温及持力层范围内的地温变化状态，变形监测包括施工期和运行期的基础冻胀和融沉变形。

2 多年冻土以冻结状态作用地基时，应全程监测；多年冻土以逐渐融化状态作用地基时，应监测 5~10 年；多年冻土以预先融化状态作用地基时，应监测 3~5 年。监测应与工程施工同时开始，施工期每月监测三次，运行期每月一次。

3 边坡坡率陡于 1:1.75，或边坡高度大于 4m 时，应设置长期稳定性监测系统，监测内容及要求除应符合现行国家标准《建筑边坡工程技术规范》GB 50330 的规定外，尚应包括地温及冻土上限的变化。

## **7.7 填土**

**7.7.1** 飞行区存在填土时，应根据填土的成分、分布和堆积年代等，分析地基的均匀性和密实程度，并按成分、厚度、强度和变形特性等进行分层或分区评价，综合确定地基处理方案。填土性质复杂、厚度大、分布范围广时，应进行专项研究。

**7.7.2** 素填土、冲填土、由建筑垃圾或性能稳定的工业废料组成的杂填土可做地基土，由有机质含量较高的生活垃圾和对建（构）筑物有腐蚀性的工业废料组成的杂填土，不得作为地基土。

#### **7.7.3 填土地基处理应符合下列要求：**

1 换填法可用于处理填土厚度不大、填土成分不适合做地基土的填土地基。

2 分层压实法、振动碾压法和冲击碾压法可用于处理填土厚度不大、填土成分可做地基土的填土地基。

3 强夯法可用于处理填土厚度较大、填土成分可做地基土的填土地基。

**7.7.4** 填土地基大面积处理前宜进行现场地基处理试验，以验证选用地基处理方法的有效性，优化地基处理设计参数。

**7.7.5** 填土地基应检测密实程度和均匀性，以标准贯入、静力触探、动力触探等手段为主，可辅以无损检测和室内试验。

## 8 飞行区不良地质作用

### 8.1 一般规定

**8.1.1** 飞行区存在不良地质作用时，应在查明其成因、规模、稳定状况及发展趋势的基础上，遵循因地制宜、防治结合、力求根治的原则，根据技术、经济、工期和环境影响等进行方案比选。

**8.1.2** 飞行区不良地质作用场地地基处理方案所需参数，宜通过原位测试、地球物理勘探以及室内试验等确定。

### 8.2 岩溶

**8.2.1** 飞行区存在岩溶时，应根据岩溶勘察成果进行岩土工程设计，按地表岩溶和隐伏岩溶区别处理，利用当地岩溶治理经验，确定地基处理方案。处理之前应进行施工勘察。

**8.2.2** 不同类型的地表岩溶应分别按下列方法处理：

1 对岩溶漏斗、岩溶洼地和地面塌陷，可根据所处场地分区和充填物厚度，采用相应能级填石强夯处理或换填处理。

2 对落水洞可填充并采取反滤措施，必要时可在洞口采用盖板跨越。

3 对石芽、石笋宜剔除一定深度，用砂、土夹石作为褥垫层。

4 对溶槽宜挖除软弱土，回填砂、石。

**8.2.3** 隐伏溶洞应结合场地分区、荷载情况、填挖方分区及其填挖高度对岩溶充填物或顶板厚度影响、填料性质等工程实际，判别其对地基稳定性的影响。应按定性和定量方法判别稳定性，判别结果应包括定性与定量评价及综合评价。满足表 8.2.3 判别条件的溶洞可定性判别为稳定。

表 8.2.3 隐伏溶洞稳定性定性判别

判别方法	场地分区	判别条件
按顶板厚度	飞行区道面影响区、 填方边坡稳定影响区	$H \geq 15\text{m}$
	飞行区土面区	$H \geq 10\text{m}$
按顶板厚度 与洞径比值	飞行区道面影响区、 填方边坡稳定影响区	$H/D \geq 1$ (顶板完整), 或 $H/D \geq 1.5$ (顶板破碎)
	飞行区土面区	$H/D \geq 0.7$ (顶板完整), 或 $H/D \geq 1$ (顶板破碎)

注:  $H$  为顶板厚度 (岩溶位于挖方区时应扣除挖去厚度),  $D$  为洞体直径。

#### 8.2.4 判别为不稳定的隐伏溶洞应按下列方法处理:

1 对顶板厚度较小的溶洞, 可采用清爆后夯填处理。

2 对顶板厚度较大的溶洞, 当洞体未充填或半充填时, 可采用灌注充填与强夯相结合处理, 灌注材料可根据情况选择水泥砂浆、低标号混凝土等; 当洞体填充或顶板破碎时, 可采用强夯处理。

8.2.5 存在土洞、塌陷的地段, 或机场运行期间有可能产生土洞、塌陷的地段, 应进行地基处理。

8.2.6 土洞、塌陷地段可采用换填、注浆、强夯等方法处理, 并采取防渗、疏导、堵塞等隔离地表水和地下水的措施。

8.2.7 对挖方区道基应进行施工勘察并采取适当工程措施以排除隐伏岩溶隐患。

8.2.8 岩溶处理检测应根据处理方法确定, 并符合下列要求:

- 1 采用换填或强夯加固时, 应检测换填材料或强夯加固层的密实程度;
- 2 采用灌注处理时, 应检测灌注后充填物的密实程度和充填情况;
- 3 对地基承载力有要求时, 应进行载荷试验。

## 8.3 滑坡

8.3.1 场地平整方案设计时应在岩土工程勘察的基础上, 对整个机场工程场地范围内的已有滑坡以及受施工或其他因素影响有可能形成的滑坡, 进行现状和预计工况条件下的稳定性及危害程度分析评价。

8.3.2 对于影响机场工程施工及机场安全运行的潜在滑坡, 应采取可靠的预防措施, 防止滑坡产生。

**8.3.3** 对于场地内已经存在的中小型滑坡，宜结合场地平整予以消除。不能完全消除时，应根据其危害程度采取适当治理措施。

**8.3.4** 对于场地内已经存在的大型及巨型滑坡，应进行专项研究。

**8.3.5** 进行滑坡稳定性分析前，应根据地质条件和边坡特征对可能破坏方式及相应破坏方向、破坏范围、影响范围作出判断。岩质边坡应考虑受岩土体强度控制的破坏和受结构面控制的破坏。

**8.3.6** 滑坡稳定性验算应结合工况，可采用极限平衡法。对结构复杂的岩质边坡，可配合采用极射赤平投影法和实体比例投影法；当边坡破坏机制复杂时，宜辅以数值计算法。

**8.3.7** 滑坡推力应按下列要求进行计算：

- 1 应根据滑坡体的特征确定滑面的形状和位置；
- 2 当滑体有多层滑动面时，应分别计算沿各层滑动面的推力；
- 3 应平行于滑动方向选择具有代表性的几个断面，其中应有一个滑动主轴断面，进行计算；
- 4 应计算不同工况下的滑坡推力。

**8.3.8** 滑面岩土抗剪强度取值，可根据滑面岩土室内试验资料（不同含水率下的峰值强度和残余强度）、极限平衡反演分析值、工程类比经验数据，结合滑坡可能出现的最不利情况进行分析确定。必要时可通过现场原位试验确定。

**8.3.9** 滑坡稳定性应采用工程类比法和力学计算进行综合评价。经治理的滑坡，其稳定安全系数应符合本规范第 4.3 节的规定。

**8.3.10** 可能或已经发生的滑坡，应采取下列处理措施：

- 1 排水：应设置地表截、排水沟以防止地表水浸入滑坡地段，必要时尚应采取防渗措施。地下水影响较大时，应根据地质条件设置地下排水工程。
- 2 支挡：根据滑坡推力的大小、方向及作用点，可选用抗滑挡墙、抗滑桩、预应力锚索（杆）等抗滑结构。抗滑挡墙的基底及抗滑桩的桩端应埋置于滑动面以下的稳定土（岩）层中，并验算墙（桩）顶以上的土（岩）体从墙（桩）顶滑出的可能性。
- 3 卸载：在保证卸载区上方及两侧岩土稳定的情况下，可在滑体主动区卸载，不得在滑体被动区卸载。
- 4 反压：在滑体的阻滑区段可增加竖向荷载以提高滑体的阻滑安全系数。

**8.3.11** 滑坡防治应进行滑坡监测与动态设计，并应符合下列要求：

- 1 滑坡监测项目主要有变形监测、地下水位监测、孔隙水压力监测等。
- 2 监测点应布置在滑坡体稳定性差或工程扰动大的部位，力求形成完整的剖面，采用多种手段互相验证和补充。
- 3 滑坡监测包括施工期监测和运行期监测，监测结果应作为判断滑坡稳定状态、指导施工、反馈设计和防治效果检验的重要依据。
- 4 施工期监测数据采集时间宜为每天一次，运行期第一年监测数据采集时间间隔宜为 7~30 天，其后根据稳定情况可调整为 30~180 天；在出现不稳定迹象或暴雨等外界不利因素影响较大

时，应加密观测次数。

5 应及时分析滑坡监测资料，预测滑坡位移、变形的发展趋势和整治工程的效果，采用动态设计方法适时调整滑坡整治工程设计和施工方案，保证工程施工安全和坡体稳定。

## 8.4 液化

**8.4.1** 当飞行区存在地震作用下可液化土层，且场地抗震设防烈度大于等于Ⅶ度时，应根据场地地形特征、填挖方情况、液化土层埋藏条件等，分析液化可能产生的危害，并采取消除液化措施。

**8.4.2** 飞行区道面影响区可液化土地基处理应符合表 8.4.2 的规定。

表 8.4.2 飞行区道面影响区可液化土地基处理技术要求

区域	地基液化等级		
	轻微	中等	严重
跑道	道基顶面以下不小于 1m 范围内全部消除液化沉陷	道基顶面以下不小于 3m 范围内全部消除液化沉陷	道基顶面以下不小于 5m 范围内全部消除液化沉陷
滑行道、机坪	可不采取抗液化措施	道基顶面以下不小于 2m 范围内全部消除液化沉陷	道基顶面以下不小于 4m 范围内全部消除液化沉陷

**8.4.3** 当飞行区存在地震液化引起场地滑移的可能性时，应进行专项研究确定是否需要采取处理措施。

**8.4.4** 对于地基中的可液化土层，应根据具体情况和本规范第 8.4.2 条规定，选择下列抗液化或减轻液化危害的处理措施：

- 1 采用非液化土置换浅层可液化土层时，置换回填土的压实度应符合本规范第 4.4.1 条的规定。
- 2 采用人工加密土层措施处理时，可根据处理深度选择振动碾压法、冲击碾压法、强夯法、挤密法等。
- 3 可采用减弱地震液化因素的方法，如增加上覆非液化土层厚度等。

**8.4.5** 可液化土地基处理后应对处理深度内原可液化土层进行标准贯入等液化判别检测。

## 8.5 采空区

**8.5.1** 拟建机场内存在采空区时，宜进行采空区专项调查，分析采空区特点、自身的稳定性和地表变形趋势，评价采空区对机场建设的影响和危害。

**8.5.2** 应根据采空区的形成时间、采空区规模、采矿方法、围岩及顶板岩性与力学性质、水文地质与工程地质条件等选择治理方案，可采取开挖回填、充填、桥跨和注浆等措施，亦可多种方案联合使用。

**8.5.3** 采空区处理时，应注意地表水、地下水对采空区稳定和变形的影响。

**8.5.4** 浅采空区宜采用开挖回填处理。

**8.5.5** 对采空厚度较大，分布范围不清，塌陷机制复杂的采空区，应在采空区岩土工程勘测成果基础上进行专项研究，制定合理的处置方案。



## 9 专项工程设计

### 9.1 一般规定

**9.1.1** 飞行区不停航施工工程、高填方工程和填海工程等应进行专项工程设计。

**9.1.2** 高填方工程、填海工程等专项工程设计应进行分析论证与现场试验，以验证处理工艺、方法的有效性、可靠性、质量可控性等。

**9.1.3** 专项工程设计应贯彻动态设计的原则，在掌握场地水文地质条件、工程地质条件、填料来源及其性质的基础上，开展土石方填筑、排水、边坡防护和绿化、地基等设计，并根据实际情况优化、调整设计，保证合理性与时效性。

### 9.2 飞行区不停航施工工程

**9.2.1** 跑道、滑行道和机坪改（扩）建等飞行区不停航施工工程的岩土工程设计，应最大限度地减少不停航施工对机场正常运行的影响，避免危及机场运行安全。

**9.2.2** 飞行区不停航施工工程的工后沉降控制应遵循变形协调原则，保证新、旧道面和管线等设施不产生较大的差异沉降，防止影响现有设施的正常使用。

**9.2.3** 飞行区不停航施工工程的岩土工程设计应满足机场障碍物限制面要求、升降带平整范围和滑行带平整范围的场地要求、现有道面及周边地下管线的保护和监测要求等。

**9.2.4** 飞行区不停航施工工程的地基处理方法可采用换填（置换）法、水泥土搅拌桩法、注浆法、预压法等。

### 9.3 高填方工程

**9.3.1** 高填方工程设计应考虑工程分期或分阶段建设的连续性、渐进性和整体性，并重视工程环境。高填方工程设计应以保证地基和（或）填筑体均匀、密实和稳定为原则，重点控制基底面、临空面、交接面和填筑体等四个要素。

**9.3.2** 高填方工程设计宜进行环境与工程的相互影响研究，并在设计时采取合理方案，减小工程施工和设施对环境的不良影响。

**9.3.3** 高填方工程设计指标应满足不同场地分区的相应要求，符合本规范第 4 章规定。设计内容主要应包括地基处理设计、土石方填筑设计、边坡设计和相关的排水设计，以及检测和监测设计等。

**9.3.4** 高填方工程宜在大面积施工前，针对关键技术问题进行专项研究并选择代表性位置进行试验性施工，通过试验总结、验证和优化适用工艺、设计指标和参数（含各种填料的填挖比）。

**9.3.5** 试验段设计应考虑其代表性、特殊性、局限性，遵循技术可靠性、施工便宜性和场地适应性原则，重点考虑全场典型岩土工程问题、全场拟采用的处理方案、总平面规划、地势设计方案以及征地拆迁等因素。试验段设计的内容宜包括地基处理设计、地势设计、土石方填筑设计、临时排水设计、试验检测与监测技术要求等。

**9.3.6** 高填方工程地基存在特殊性岩土和不良地质作用时，可按本规范第 7 章和第 8 章的相应规定处理，并重点考虑填方和挖方高度、填料性质、地下水以及道面荷载等。

**9.3.7** 高填方工程土石方填筑设计应根据挖方区填料勘察成果进行，结合地势设计和场地分区统一考虑，减少二次处理，主要包括填料要求及填筑工法设计、压实要求指标设计、填料调配设计，宜使填方和挖方量平衡。

**9.3.8** 高填方相邻填筑工作面之间、填筑体与原地面交接处应采用搭接过渡处理。

1 填筑分几个作业面施工时，先填筑一侧的工作面应按 1:2 坡度预留台阶便于后填筑的一侧搭接，相邻工作面高差不宜大于施工时的一个填筑层厚度。不同填筑层的搭接面应错开。

2 飞行区道面影响区填筑体与原地面交接处宜放坡并开挖台阶搭接，坡比不符合要求时可超挖。沿竖向每个填筑层宜加强处理。

**9.3.9** 高填方工程边坡稳定安全系数应符合本规范第 4.3 节规定，边坡设计内容应包括边坡坡比、填筑、排水以及边坡防护。边坡填筑宜与土石方填筑统一考虑，优先采用性质较好的填料。边坡防护设计应考虑坡面绿化和坡面排水。

**9.3.10** 高填方工程排水系统设置应符合本规范第 6.3 节规定。地基排水遇泉眼时应设盲沟疏导，水量大时可采用盲沟与管涵相结合的方式。应采取适当措施做好施工期排水。

**9.3.11** 高填方工程飞行区道面影响区施工期沉降应满足下列指标：原地基固结度宜大于 85%~90%，填筑体沉降量宜小于填筑高度的 1.0%~1.5%。

**9.3.12** 高填方工程检测应包括地基处理和土石方填筑检测，地基处理检测应符合本规范第 7 章、第 8 章的规定，土石方填筑检测应符合本规范第 4.4 节的规定。

**9.3.13** 高填方工程施工期及运行期应进行监测，监测项目及要求应符合《民用机场勘测规范》MH/T 5025 的规定，并应根据监测资料反馈指导施工和优化设计。

## 9.4 填海工程

**9.4.1** 填海工程设计应保证填海成陆的均匀、密实和稳定，重点控制沉降和差异沉降，满足机场安全运行要求。

**9.4.2** 填海工程设计应根据下列基本资料进行：

- 1 机场工程总平面规划；
- 2 以海底地层等信息为主的工程地质资料和水下地形及其历史演变资料；
- 3 以水深、水（洋）流、波浪、潮汐、泥砂等信息为主的水文资料；
- 4 土石方等料源调查资料；
- 5 填海工程建设影响区域的波浪数学模型和物理模型研究资料；
- 6 填海工程建设区域内对海洋生态影响的相关分析、评价资料。

**9.4.3** 填海工程设计宜在大面积施工前，针对关键技术问题进行专项研究，并选择代表性位置进行试验性施工，以获得或优化设计指标和参数。

**9.4.4** 填海工程设计主要应包括海堤及隔堤设计、软土地基处理设计、填筑设计等。

**9.4.5** 填海试验工程应具有代表性、典型性，并考虑试验的局限性，遵循场地适宜、技术可靠、施工便利、经济合理等原则，根据地基处理方案、总平面规划、填海方案等，研究填海的主要岩土工程问题。试验设计的内容宜包括地基处理设计、填海设计、试验检测设计等。

**9.4.6** 海堤及隔堤设计应符合下列要求：

1 防潮防浪的海堤及护岸应符合现行相关防洪技术标准的规定，其稳定性和防渗要求应符合现行相关水利技术标准的规定。

2 划分施工分区的分隔堤宜采用与陆域形成相同或相近的材料，以减小分隔堤引起的成陆不均匀。

3 地质条件、水文条件变化较大时，宜分段设计，并做好各段间的衔接处理。

4 施工隔堤宜结合场地分区及施工道路进行布置，不同场地分区应按使用功能要求选用填料，并根据需求进行针对性处理。

**9.4.7** 填海工程软土地基应根据海水深度、软土厚度和填料种类选择处理方法。海水深度 5m 以内时，软土厚度不大于 3m 的区域宜采用置换的方法进行处理，软土厚度大于 3m 的区域宜采用排水固结为主的方法进行处理；海水深度大于 5m 时，处理方法应专项研究确定。

**9.4.8** 填筑设计应符合下列要求：

1 应提出料源调查要求，包括填料的储量（应为需求量的 2.5 倍以上）、分布、种类、性质、运输方式、开采条件、造价及环境影响等。

2 应根据场地分区、工期、造价及运输等因素选择填料，宜优先选用受海水浸泡影响较小且性能稳定的材料，如：海砂、碎石、块石等；当采用性质不良填料时应开展专项研究或现场试

验。填料的选择应减少对地基处理和后续工程的不利影响。

3 应根据填料种类、填海深度、运输方式、软土地基处理方法等选择填筑工艺。

4 填筑设计的标高应统筹考虑造价、场区排水、防潮和地下水影响等因素综合确定。

**9.4.9** 填海工程应对海（隔）堤、软土地基及填筑体在施工期和运行期进行监测，施工期监测点的设置宜与运行期监测相结合。

1 海（隔）堤工程应监测堤身沉降、水平位移、渗流等。监测点设置应与施工进度密切配合。监测频率宜为：填筑过程及填筑结束后第 1 个月内，每周 1~7 次；填筑结束后第 2~3 个月内，每半个月 1 次；第 4~6 个月内，每个月 1 次，其后每 3~6 个月 1 次。加载快、变形大时应增加监测频次。

2 软土地基及填筑体监测项目和要求应符合《民用机场勘测规范》MH/T 5025 的规定。

## 附录 A 道基反应模量试验方法

**A.0.1** 本试验方法通过现场承载板对道基加载，测出特定变形值下相应的荷载或者特定荷载下的道基变形值，计算求得道基反应模量。

**A.0.2** 本试验所用的器具与材料，应符合下列规定：

1 加载设施：可用后轴重不小于 100kN 载重汽车，在汽车大梁的后轴之后附设加劲横梁一根作反力架加载，也可采用堆载平台反力装置加载；

2 现场测试装置：由千斤顶、测力计（测力环或压力表）及球座组成；

3 承载板一组：圆形钢板 4~5 块，每块厚度不小于 25mm，直接与道基表面接触承载板直径为 760mm，其他承载板直径范围为 450mm~610mm；

4 百分表或其他变形量测仪器；

5 弯沉仪；

6 秒表；

7 水平尺；

8 其他：细砂、毛刷、垂球、镐、铁锹、铲等。

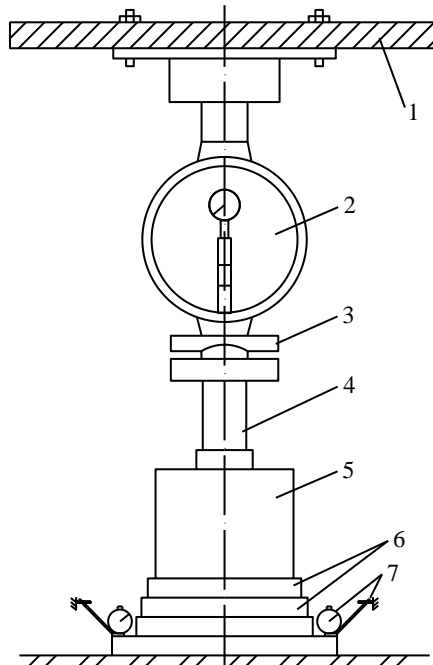


图 A.0.2 道基反应模量测试装置图

1—加劲横梁；2—测力计；3—钢板及球座；4—钢圆筒；5—千斤顶；6—承载板；7—百分表及支架

### A.0.3 准备工作应包括下列内容:

- 1 选择有代表性的测点, 三点为一组, 每个地质单元不宜少于一组, 测点位于道基范围, 标高尽量接近设计道基顶面标高。
- 2 开挖试坑时应避免对坑底地基土的扰动, 保持其原状结构和天然湿度, 整平道基后表面用干燥洁净的细砂找平并用水平尺检查, 找平层厚度不大于 5mm。
- 3 安置承载板并用水平尺校正, 各承载板必须处于水平状态, 中心对齐。
- 4 试验车开至测点位置, 使加劲小梁中部悬挂垂球恰好对准承载板中心, 然后收起垂球, 并将车轮前后轮胎堵塞平稳。
- 5 在承载板上安放千斤顶, 上面衬垫钢圆筒、钢板, 如用测力环时, 应将测力环置于千斤顶与横梁中间, 千斤顶及衬垫物必须保持垂直, 以免加压时千斤顶倾倒发生事故并影响测试数据的准确性。
- 6 将三只百分表放置于最下层承载板距板边缘约 5mm 位置上, 互成 120° 交角, 然后再将两台弯沉仪的测头分别置于承载板直径两端百分表附近进行监测, 百分表架支点距承载板中心应不小于 2m; 调正百分表, 使其指针处于行程中间的位置。

### A.0.4 测试步骤主要应包括下列内容:

- 1 仔细检验试验装置牢固性后用 15.4kN 荷载预压 1~2 次, 使承载板与道基紧密接触, 同时检查百分表的工作情况是否正常, 然后卸载稳压 1min 后, 将指针对零或记录初始读数。
- 2 分级连续加载, 荷载分级应不少于 5 级, 中间不卸载, 各级荷载应稳定 1~3 分钟, 并待沉降速率小于 0.25mm/min 时读取百分表读数, 然后进行下一级加载, 加载速度应均匀, 加载分级为: 0.000MPa (0.00kN) → 0.034MPa (15.46kN) → 0.069MPa (30.93kN) → 0.103MPa (46.39kN) → 0.137MPa (61.85kN) → 0.172MPa (77.31kN) → 0.206MPa (92.76kN)。
- 3 在试验点下取样, 测定材料含水率。取样数量如下:
  - 最大粒径不大于 5mm, 试样数量约 120g;
  - 最大粒径不大于 25mm, 试样数量约 250g;
  - 最大粒径不大于 40mm, 试样数量约 500g。
- 4 在紧靠测点旁适当位置, 用灌砂法或环刀法等测定道基的密度。
- 5 测试所得各项数值可记录于表 A.0.7 的记录表上。

### A.0.5 对道基反应模量试验数据进行整理分析, 绘制 $p-s$ 曲线 (荷载-沉降曲线), 并计算道基反应模量。

- 1 对于一般道基

$$k_u = \frac{P_B}{0.00127} \quad (\text{A.0.5-1})$$

式中:  $k_u$ ——现场测得的道基反应模量 ( $\text{MN}/\text{m}^3$ );

$P_B$ ——承载板下沉量为 1.27mm 时所对应的单位面积压力 (MPa)。

2 对于承载板下沉量无法达到 1.27mm 的坚硬道基

$$k_u = \frac{70.00}{l_B} \quad (\text{A.0.5-2})$$

式中：  $l_B$ ——承载板在单位面积压力为 0.07MPa 时所对应的下沉值（mm）。

**A.0.6** 应按式（A.0.6）将现场测得的道基反应模量  $k_u$  换算成不利季节的道基反应模量  $k_0$ 。

$$k_0 = \frac{d}{d_u} k_u \quad (\text{A.0.6})$$

式中：  $d$ ——现场原样试件在 0.07MPa 压力下的压缩量（mm），在试验室用固结仪测得；

$d_u$ ——现场试件浸水饱和后在 0.07MPa 压力下的压缩量（mm），在试验室用固结仪测得。

**A.0.7** 本试验采用的记录格式见表 A.0.7。

表 A.0.7 道基反应模量试验记录表

测点编号_____		加载设备_____								
气 温_____										
承载板直径_____mm		测试日期_____年 月 日								
序号	荷载		百分表读数（mm）							承载板 下沉值 （mm）
	测力计读数 （kN）	单位压力 （MPa）	1 号		2 号		3 号		平均	
			读数	格数	读数	格数	读数	格数	格数	
道基反应模量 $k_0$ 值（MN/m <sup>3</sup> ）										

加载人：

读数人：

记录人：

注：弯沉仪监测的读数同样用此表填写。

**A.0.8** 试验报告应记录下列结果：

- 1 试验时所采用的加载方式；
- 2 近期天气情况；
- 3 试验时道基的含水率（%）；
- 4 道基密度和压实度；
- 5 道基反应模量值（MN/m<sup>3</sup>）。

## 附录 B 加州承载比试验方法

**B.0.1** 本试验方法适用于在规定试样筒内制样后，对扰动土进行试验，试样的最大粒径不大于 20mm。采用 3 层击实制样时，最大粒径不大于 40mm。

**B.0.2** 本试验所用的主要仪器设备，应符合下列规定：

1 试样筒：内径 152mm，高 166mm 的金属圆筒，护筒高 50mm；筒内垫块直径 151mm，高 50mm；试样筒型式见图 B.0.2-1。

2 击锤和导筒：锤底直径 51mm，锤质量 4.5kg，落距 457mm，击锤与导筒间应有足够的间隙使锤能自由下落，电动操作的击锤必须有控制落距的跟踪装置和锤击点按 45° 均匀分布的装置（中心点每圈要加一击），见图 B.0.2-2。

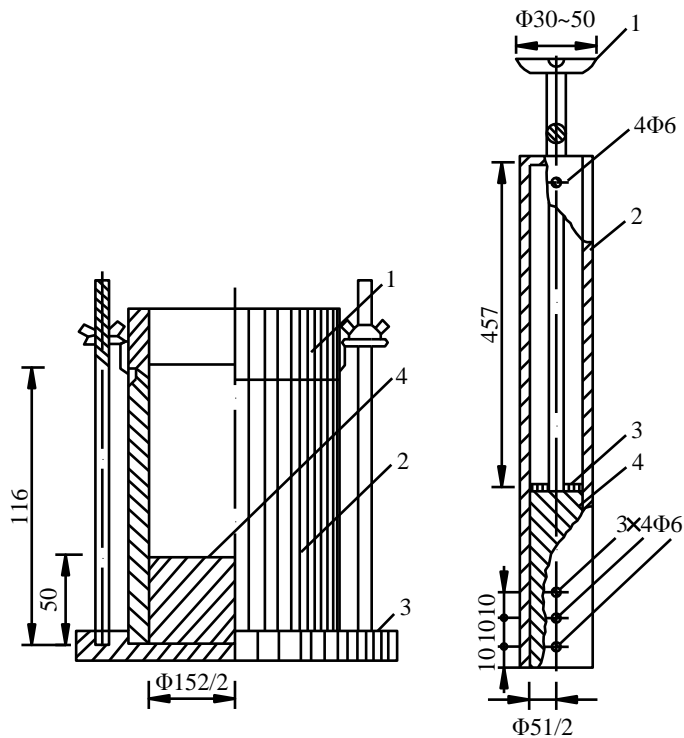


图 B.0.2-1 试样筒 (mm)

图 B.0.2-2 击锤和导筒 (mm)

1—护筒；2—击实筒；3—底板；4—垫块

1—提手；2—导筒；3—硬橡皮垫；4—击锤

3 标准筛：孔径 20mm、40mm 和 5mm。

4 膨胀量测定装置（图 B.0.2-3）由三脚架和位移计组成。

5 带调节杆的多孔顶板（图 B.0.2-4），板上孔径宜小于 2mm。



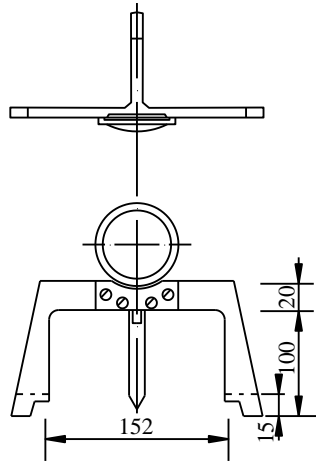


图 B.0.2-3 膨胀量测定装置 (mm)

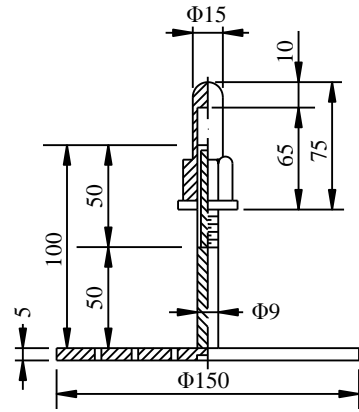


图 B.0.2-4 带调节杆的多孔顶板 (mm)

6 贯入仪 (图 B.0.2-5) 由下列部件组成:

加压和测力设备: 测力计量程不小于 50kN, 最小贯入速度应能调节至 1mm/min;

贯入杆: 杆的端面直径 50mm, 长约 100mm, 杆上应配有安装位移计的夹孔;

位移计: 2 只, 最小分度值为 0.01mm 的百分表或准确度为全程 0.2% 的位移传感器。

7 荷载块 (图 B.0.2-6): 直径 150mm, 中心孔眼直径 52mm, 每块质量 1.25kg, 共 4 块, 并沿直径分为两个半圆块。

8 水槽: 浸泡试样用, 槽内水面应高出试样顶面 25mm。

9 其他: 台秤, 脱模器等。

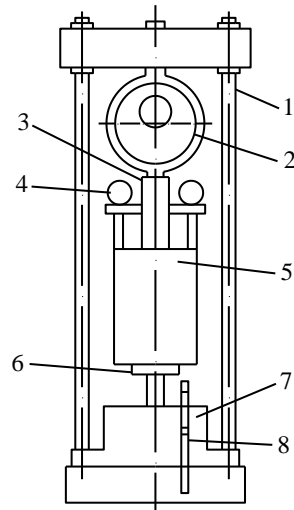


图 B.0.2-5 贯入仪

1—框架; 2—测力计; 3—贯入杆; 4—位移计; 5—试样; 6—升降台; 7—蜗轮蜗杆箱; 8—摇把

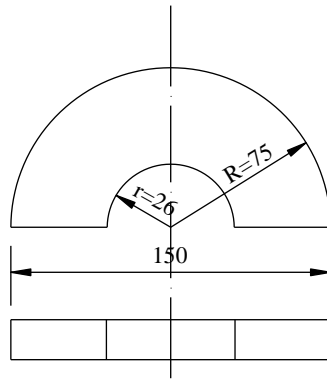


图 B.0.2-6 荷载块 (mm)

**B.0.3 试样制备应按下列步骤进行:**

1 取代表性试样测定风干含水率, 按《土工试验方法标准》GB/T 50123 中的重型击实试验步骤进行备样。土样需过 20mm 或 40mm 筛, 以筛除大于 20mm 或 40mm 的颗粒, 并记录超径颗粒的百分比, 按需要制备数份试样, 每份试样质量约 6kg。

2 试样制备应按《土工试验方法标准》GB/T 50123 进行重型击实试验, 测定试样的最大干密度和最优含水率。再按最优含水率备样, 进行重型击实试验 (击实时放垫块) 制备 3 个试样, 若需要制备 3 种干密度试样, 应制备 9 个试样, 试样的干密度可控制在最大干密度的 95%~100%。击实完成后试样超高应小于 6mm。

3 卸下护筒, 用修土刀或直刮刀沿试样筒顶修平试样, 表面不平整处应细心用细料填补, 取出垫块, 称试样筒和试样总质量。

**B.0.4 浸水膨胀应按下列步骤进行:**

1 将一层滤纸铺于试样表面, 放上多孔底板, 并用拉杆将试样筒与多孔底板固定。倒转试样筒, 在试样另一表面铺一层滤纸, 并在该面上放上带调节杆的多孔顶板, 再放上 4 块荷载板。

2 将整个装置放入水槽内 (先不放水), 安装好膨胀量测定装置, 并读取初读数, 向水槽内注水, 使水自由进入试样的顶部和底部, 注水后水槽内水面应保持高出试样顶面 25mm (图 B.0.4), 通常浸泡 4 昼夜。

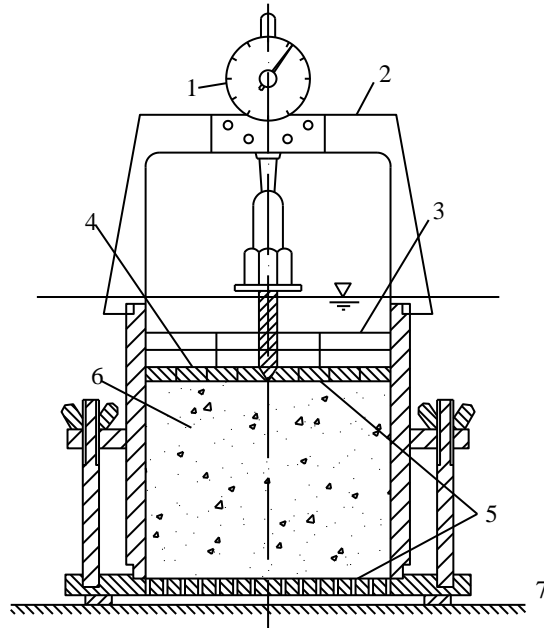


图 B.0.4 浸水膨胀装置

1—位移计；2—膨胀量测定装置；3—荷载板；4—多孔顶板；5—滤纸；6—试样；7—多孔底板

3 量测浸水后试样的高度变化，并按下式计算膨胀量：

$$\delta_w = \frac{\Delta h_w}{h_0} \times 100 \quad (\text{B.0.4})$$

式中： $\delta_w$ ——浸水后试样的膨胀量（%）；

$\Delta h_w$ ——试样浸水后的高度变化（mm）；

$h_0$ ——试样初始高度（116mm）。

4 卸下膨胀量测定装置，从水槽中取出试样筒，吸去试样顶面的水，静置 15min 后卸下荷载块、多孔顶板和多孔底板，取下滤纸，称试样及试样筒的总质量，并计算试样的含水率及密度的变化。

**B.0.5 贯入试验应按下列步骤进行：**

1 将浸水后的试样放在贯入仪的升降台上，调整升降台的高度，使贯入杆与试样顶面刚好接触，试样顶面放上 4 块荷载块，在贯入杆上施加 45N 的荷载，将测力计和变形量测设备的位移计调整至零位。

2 启动电动机，施加轴向压力，使贯入杆以 1mm/min~1.25mm/min 的速度压入试样，测定测力计内百分表在指定整读数（如：20，40，60 等）下相应的贯入量，使贯入量在 2.5mm 时的读数不少于 5 个，试验至贯入量为 10mm~12.5mm 时终止。

3 本试验应进行 3 个平行试验，3 个试样的干密度差值应小于 0.03g/cm<sup>3</sup>，当 3 个试验结果的变异系数大于 12% 时，去掉一个偏离大的值，取其余 2 个结果的平均值，当变异系数小于 12% 时，取 3 个结果的平均值。

4 以单位压力为横坐标，贯入量为纵坐标，绘制单位压力与贯入量关系曲线（图 B.0.5），图上曲线 1 是合适的，图上曲线 2 的开始段呈凹曲线，应按下列方法进行修正：通过变曲率点引一切线与纵坐标相交于  $O'$  点， $O'$  点即为修正后的原点。

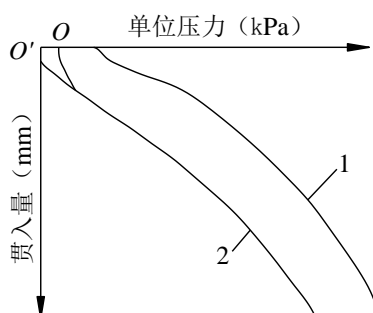


图 B.0.5 单位压力与贯入量关系曲线

**B.0.6** 加州承载比应按下列式计算：

1 贯入量为 2.5mm 时

$$CBR_{2.5} = \frac{P}{7000} \times 100 \quad (\text{B.0.6-1})$$

式中： $CBR_{2.5}$ ——贯入量 2.5mm 时的加州承载比（%）；

$P$ ——单位压力（kPa）；

7000——贯入量 2.5mm 时所对应的标准压力（kPa）。

2 贯入量为 5.0mm 时

$$CBR_{5.0} = \frac{P}{10500} \times 100 \quad (\text{B.0.6-2})$$

式中： $CBR_{5.0}$ ——贯入量 5.0mm 时的加州承载比（%）；

10500——贯入量 5.0mm 时所对应的标准压力（kPa）。

**B.0.7** 当贯入量为 5.0mm 时的加州承载比大于贯入量 2.5mm 时的加州承载比时，试验应重做。

若数次试验结果仍相同时，则采用 5.0mm 时的加州承载比。

**B.0.8** 加州承载比试验的记录格式见表 B.0.8-1、表 B.0.8-2。

表 B.0.8-1 加州承载比试验记录（膨胀量）

工程名称\_\_\_\_\_

试验者\_\_\_\_\_

试样筒体积\_\_\_\_\_cm<sup>3</sup>

计算者\_\_\_\_\_

试验日期\_\_\_\_\_

校核者\_\_\_\_\_

	试样编号	(1)	1	2	3
	试样筒编号	(2)			
含水率	盒加湿土质量 (g)	(3)			
	盒加干土质量 (g)	(4)			
	盒质量 (g)	(5)			
	含水率 (%)	$(6) = \left[ \frac{(3) - (5)}{(4) - (5)} - 1 \right] \times 100$			
	平均含水率 (%)	(7)			
密度	筒加试样质量 (g)	(8)			
	筒质量 (g)	(9)			
	湿密度 (g/cm <sup>3</sup> )	$(10) = \frac{(8) - (9)}{V}$			
	干密度 (g/cm <sup>3</sup> )	$(11) = \frac{(10)}{1 + 0.01(7)}$			
	干密度平均值 (g/cm <sup>3</sup> )	(12)			
膨胀比	浸水前试样高度 (mm)	(13)			
	浸水后试样高度 (mm)	(14)			
	膨胀比 (%)	$(15) = \frac{(14) - (13)}{(13)} \times 100$			
	膨胀量平均值 (%)	(16)			
吸水	浸水后筒加试验质量 (g)	(17)			
	吸水量 (g)	$(18) = (17) - (8)$			
	吸水量平均值 (g)	(19)			

表 B.0.8-2 加州承载比试验记录（贯入）

工程名称\_\_\_\_\_

浸水条件\_\_\_\_\_

击 次\_\_\_\_\_

试样制备方法\_\_\_\_\_

荷载板质量\_\_\_\_\_ g

试 验 者\_\_\_\_\_

试样状态\_\_\_\_\_

贯入速度\_\_\_\_\_ mm/min

试验日期\_\_\_\_\_

试样最大粒径\_\_\_\_\_ mm

测力计率定系数  $C =$ \_\_\_\_\_ kPa/0.01mm

校 核 者\_\_\_\_\_

试件编号	量表 I 读数 (0.01mm)	量表 II 读数 (0.01mm)	平均 读数 (0.01mm)	测力计 读数 (0.01mm)	荷载 强度 (kPa)	量表 II 读数 (0.01mm)	平均 读数 (0.01mm)	测力计 读数 (0.01mm)	荷载 强度 (kPa)	量表 II 读数 (0.01mm)	平均 读数 (0.01mm)	测力计 读数 (0.01mm)	荷载 强度 (kPa)
	(1)	(2)	$(3) = \frac{1}{2} [(1)+(2)]$	(4)	$(5) = \frac{(4) \cdot C}{A}$	(2)	$(3) = \frac{1}{2} [(1)+(2)]$	(4)	$(5) = \frac{(4) \cdot C}{A}$	(2)	$(3) = \frac{1}{2} [(1)+(2)]$	(4)	$(5) = \frac{(4) \cdot C}{A}$
贯入量	0												
	50												
	100												
	150												
	200												
	250												
	300												
	400												
	500												
	750												
1000													
$CBR_{2.5}$ (%)													
$CBR_{5.0}$ (%)													
$CBR$ (%)													
平均 $CBR$ (%)													

注：表中公式 A 为试样面积。

## 附录 C 本规范用词用语说明

**C.0.1** 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”。

2 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”。

**C.0.2** 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……”。

## 附录 D 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本规范的引用而成为本规范的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本规范，但鼓励根据本规范达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本规范。

《民用机场勘测规范》MH/T 5025

《民用机场飞行区技术标准》MH5001

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《建筑边坡工程技术规范》GB 50330

《公路路基设计规范》JTG D30



# 条文说明

## 1 总 则

**1.0.1** 我国民用机场岩土工程设计经过二十年来的发展，取得了丰硕的成果并积累了大量的工程建设设计经验。机场运行的情况表明这些工程在实践中获得了成功，同时也有失败的例子。长期以来，在民用机场岩土工程设计工作中，主要借鉴相关行业规范，包括公路、铁路、建筑等，没有形成具有民航行业特点和针对性的岩土工程设计规范。公路、铁路、建筑的岩土工程特点与机场存在较大差别，尤其是飞行区，参考其他行业规范对机场的岩土工程设计并不完全适用，设计人员处于无章可循的困难境地，只能凭经验进行设计。设计不合理、施工不当而导致的地基破坏时有发生。因此，编制民用机场岩土工程设计规范迫在眉睫。

制定本规范的目的，是适应民用机场建设发展的需要，统一民用机场岩土工程设计技术标准。进行民用机场岩土工程设计时，首先应保证机场的安全和正常使用，然后要求做到技术先进、经济合理、节约资源和保护环境。

**1.0.3** 由于民用机场工程建设的范围大，场地分区多，岩土种类多、性质复杂，同一场地岩土的物理力学指标离散型一般较大，加上岩溶、滑坡等诸多不良地质作用，故条文强调应综合考虑场地分区，采取因地制宜、就地取材的原则。倡导设计者根据工程的实际情况，采用新技术、新材料和新工艺，但强调在采用新技术、新材料和新工艺时，应进行现场试验，根据试验结果推广应用于大面积施工。

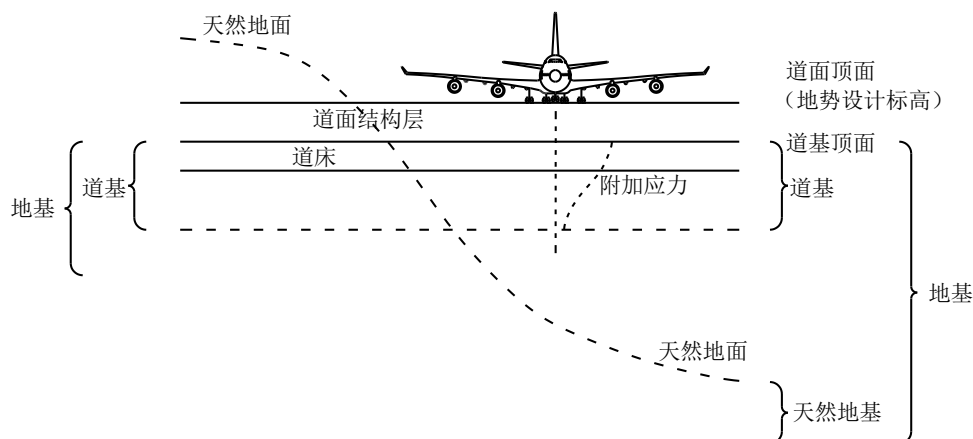
**1.0.4** 本规范强调环境保护，尤其是高填方工程和填海工程，更应加强环境保护的研究，符合前期工作环境评价的要求，并防止因岩土工程设计失误引起的水土流失和次生地质灾害。

## 2 术语和符号

**2.1.4** 岩土工程设计时，对机场办公区、综合保障区、机场货运区、生活服务区等采用相同的设计指标，场地分区时简化统称为工作区，与机场总体规划的工作区涵义有所区别。

**2.1.10~2.1.11** 道基与地基的关系见下图。飞机及道面结构层荷载作用在地基上，填方区天然地面以下的部分为天然地基，天然地基承受飞机（或车辆）、道面及填筑体荷载。飞机（或车辆）荷载在地基中的附加应力随深度衰减，靠近道面结构层一定深度受附加应力有效作用的地基为道

基。道基术语是本规范首次提出的，相当于道面设计规范的土基概念。道基顶面（道面底面）以下 0.8m 范围内的道基部分为道床。



说明图 2.1.10 道基与地基

**2.1.14** 工后差异沉降数学上的严格意义指相邻计算点或监测点的沉降量差值，条文沿用习惯称谓，意指沉降量差值在水平方向的坡率。

**2.1.16** 道基反应模量指 Winkler 地基模型中，一定测试条件（道基反应模量试验）下，道基特定变形值下相应的荷载或者特定荷载下的道基变形值，量纲为[力]/[长度]<sup>3</sup>，而其物理意义并非指模量，与其他行业所称地基系数、基床系数的物理意义类似，仅测试方法有一定区别。本规范将该术语名称由原土基反应模量调整为道基反应模量，既明确了概念又遵循了民航行业的习惯。

**2.1.20** 随着我国西部开发和民航业发展，山区机场越来越多，大面积的开山填谷形成了较大的填方高度，如：铜仁机场（24m）（括号内为最大填方高度）、绵阳机场（28m）、大理机场（30m）、万州机场（32m）、广元机场（38m）、兴义机场（42m）、荔波机场（46m）、昆明长水机场（52m）、龙洞堡机场（54m）、三明机场（65m）、攀枝花机场（65m）、吕梁机场（84m）、九寨黄龙机场（102m）等机场填方高度均大于 20m。最大填方高度大于等于 20m 为高填方的提法是基于大量山区机场的案例及行业习惯。

### 3 基本规定

**3.0.1** 本条规定了在进行岩土工程设计前应取得的资料。尤其强调要取得基于总平面规划进行的场地分区和地势设计资料，并应了解当地岩土工程治理经验和施工条件等。

**3.0.2** 综合场地复杂程度、地基等级两方面因素对机场岩土工程设计进行分级规定。鉴于安全和技术要求无论哪个级别的机场都是同样重要，机场岩土工程设计等级划分未将飞行区指标作为考虑因素。

**3.0.3** 根据基本建设程序，设计文件的编制一般分为初步设计、施工图设计两个阶段。机场工程规模大、系统复杂，场地平整范围大，在平面上一般跨越多个地质单元，涉及的岩土工程问题多，设计难度大。根据以上特点，为确保设计质量，增加了方案设计阶段。方案设计阶段可结合（预）可行性研究报告的编制和设计初期的准备工作同步进行。在正式编制初步设计文件前，对机场岩土工程的关键性技术问题或难题先行进行方案研究和详细论证，选择合理可行的设计方案，从而避免设计过程中出现方案反复调整或方案决策失误的情况。通过方案研究，形成技术方案研究报告，研究报告及其评审意见可作为初步设计的依据。对技术上复杂（如：岩溶、高填方、填海等）、基础资料缺乏或不足的建设项目可增加技术设计，目的是根据初步设计批复意见及现场试验、专项研究成果，对初步设计中未解决的重大、复杂技术问题，提出优化的设计方案及技术经济指标。

**3.0.4** 动态设计是在掌握施工现场地质状况、施工情况和监测反馈信息的情况下，对原设计进行校核、优化和完善的方法，是本规范岩土工程设计着力提倡的设计理念。地质勘察参数难以准确确定、设计理论和方法带有经验性和类比性，根据施工中反馈的信息和监测资料完善设计，是一种客观求实、准确安全的设计方法，适用于岩土工程施工阶段，是施工图设计的延伸。动态设计应以完整的施工图设计为基础。例如，在岩溶地区，由于受客观条件所限，无论采用哪种综合勘察手段，都很难对土（溶）洞等隐伏岩溶的分布范围、发育规模以及稳定性作出准确、量的评价，通常需要在施工阶段进行补充勘察，根据补充勘察结果调整设计。对于山区机场，挖方区的勘察通常分为两个阶段：第一阶段，进行土石材料性质和土石比的勘察。在施工阶段经常会发现实际挖方区的土石比与勘察资料提供的土石比有一定的出入，由于土石比的变化对地势设计标高和土石方的调配影响很大，需要根据实际的土石比进行相应的土石方填筑设计调整。第二阶段，在场地平整后，进行地基土的补充勘察，根据勘察结果，进行挖方区的地基处理设计。

**3.0.5** 规划设计时通常将机场场址称为场地，指机场建设的地点；机场工程规模大、用地功能复杂，有必要进行分区，建设的范围通常称为场区，指全部建设场地或某一场地分区。针对每个区域所涉及的岩土工程问题，其设计要求亦不尽相同。飞行区是机场主体工程之一，是机场建设的关键工程。应确保飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区地基均匀、密实和稳定，这是由于这两个区的地基问题对机场的安全和正常使用可能造成影响的严重程度决定的。设计时，飞行区内特种车辆行驶的道路因承担较大的车辆荷载，通常按飞行区道面影响区处理。航站区和工作区只是满足场地平整的要求，在相应的设计阶段，航站区中的航站楼、工作区中的建筑单体和设施等可以遵循国家标准、专业工程和地方规范的规定进行设计。

飞行区道面影响区填方区的放坡比例是按压力扩散角确定的，根据经验和《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2002 表 4.2.1，中砂、粗砂、砂砾、圆砾、角砾、石屑、卵石、碎石、矿渣等的压力扩散角不大于  $30^\circ$ ，粘性土为  $23^\circ$ ，坡比分别为  $1:0.58$  和  $1:0.42$ 。

**3.0.6** 机场岩土工程设计计算应满足地基沉降变形和稳定性的要求。这是由于地基沉降变形，尤其是差异沉降易造成上部结构的开裂和破坏，同时由于边坡失稳造成滑坡的多个事例，严重影响了机场的运行安全，因此控制地基沉降变形和保证稳定性为机场岩土工程设计的主要原则。

**3.0.8** 本条规定了在确定岩土工程设计方案时宜遵循的步骤。着重指出在选择岩土工程设计方案时，宜综合各种因素，进行技术经济分析比较。

**3.0.9** 本条强调不同岩土工程设计等级的机场进行现场试验、专项研究或工艺性施工的重要性的不同要求。

**3.0.10** 为确保工程质量，所有的机场岩土工程设计都应提出明确的检测要求，根据情况提出监测要求。

通过岩土工程变形监测，可掌握计算值与实测值的关系，一方面是动态设计和确定是否满足设计指标的需要，另一方面为安全运行和及时发现事故征候提供信息，以便查明原因及时对事故进行处理。为此，本条规定了岩土工程设计时的监测要求。监测范围、监测内容和监测时间等要求宜根据不同岩土工程设计等级有所区别。对岩土工程设计等级为甲级的机场，监测内容、频率、精度、分析反馈的及时性等方面要求高些；对岩土工程设计等级为乙级和丙级的机场，监测内容、频率、精度、分析反馈的及时性等方面要求低些。

监测工作对机场尤为重要，应建立监测控制系统。监测内容通常包括飞行区道面影响区原地基沉降、分层沉降和表层沉降等；边坡坡面水平位移、地基与填筑体水平位移等。当有地下水存在时，尚需进行孔隙水压力和地下水位的监测。通过监测，为土石方填筑速率、道面铺设时间以及竣工验收提供依据；为保障机场的安全运行，尚应在运行期进行必要的监测。《民用机场勘测规范》MH/T 5025-2011 对软土地基监测和高填方工程监测提出了具体规定。

**3.0.11** 岩土工程事故案例表明，许多问题主要和地表水及地下水处理不好有关，因此，条文强调加强排水工程设计。

**3.0.12** 岩土工程设计时，应考虑穿越机场的市政、交通等工程（如：地铁、高铁、快轨、轻轨、桥涵、管廊、交通中心等）的影响，尤其当穿越飞行区道面影响区时，应采取有效措施，尽量减少差异沉降。通常情况下，穿越机场的市政、交通等工程的业主单位、设计单位、施工单位与机场工程的业主单位、设计单位、施工单位不同，各单位应密切配合，加强协调沟通，确保工程质量。对穿越工程提出技术要求是为保证穿越工程满足机场建设和运行的要求。

## 4 设计指标

**4.1.1** 本规范所述民用机场岩土工程设计主要针对飞行区的地基及土石方填筑设计以及全场其他区域场地平整设计，设计需要考虑的主要岩土工程问题包括地基沉降变形、边坡稳定性和地基强度与刚度，相应的设计指标在本规范第4章中针对上述问题提出。“其他特性指标”主要指针针对特殊岩土工程问题（如：膨胀土的膨胀性、滑坡稳定性等）的指标，在本规范第7章和第8章中提出。

**4.1.2** 机场内不同的场地分区对地基沉降变形、地基强度和（或）边坡稳定性指标要求不同。如飞行区道面影响区对地基沉降变形和地基强度要求较高，且应考虑道面和飞机荷载；飞行区土面区内升降带平整范围对强度有一定要求，其余范围对强度要求较低；边坡主要考虑边坡稳定性问题。不同的地基处理及边坡设计方案对地基沉降、地基强度和边坡稳定性的影响差异明显，机场工程对变形、强度和稳定性的要求应以满足机场使用为宜。

**4.2.1** 本条规定是总结多年来软土地区、高填方机场建设的实践经验提出的，符合国际民用航空组织的国际标准和建议措施。

《国际民用航空公约附件十四 机场》关于跑道表面的平坦度要求，用 3m 长的直尺置于道面表面任何地方、任何方向测试时，沿着直尺边的任何地方直尺底面与道面表面之间的空隙不大于 3mm。航空器的运行和道面基础的不均匀沉降将导致道面表面不平坦的增加，上述容差中的少量偏差将不致影响航空器的运行。一般来说，在 45m 距离内，偏差 2.5cm 至 3cm 的孤立的不平整是可以容许的。最大可接受偏差与航空器的类型和速度有关，但不应超过下表的限值。表中“表面不平坦”定义为在任一给定“跑道部位”上，孤立的表面标高偏差不构成一个均匀坡面。“跑道部位”指在这段跑道内，主导的总体坡度是连续的上坡、下坡或平坦。“跑道部位”的长度通常介于 30m 至 60m 之间或更长，视道面纵向剖面 and 道面条件而定。

说明表 4.2.1 跑道道面表面不平坦容许限值

可予接受不平坦的最低长度 (m)	3	6	9	12	15	20	30	45	60
表面不平坦的最大高度（或深度）(cm)	3	3.5	4	5	5.5	6	6.5	8	10

注：据《国际民用航空公约附件十四 机场》。

条文中工后差异沉降考虑的长度为 50m，地基条件复杂时可取 50m 长度范围内最大沉降点和最小沉降点之间的距离。沉降计算时的长度可根据相邻钻孔进行内插；沉降监测分析时的长度可根据相邻沉降监测点进行内插。

考虑到飞机在跑道的运行速度明显大于滑行道和机坪，其容许的工后沉降和工后差异沉降相对也严格些。机坪的沉降标准主要是从排水角度考虑提出的，应确保机坪不出现反坡或积水现象。考虑到 4C 级及以下等级机场，其机坪面积一般不大于 20000m<sup>2</sup>，机坪面积较小时，排水线路较短，可取高值；4C 级以上等级机场，其机坪面积一般大于 20000m<sup>2</sup>，机坪面积较大时，排水线路较长，可取低值。

水泥混凝土和沥青混凝土等类型的道面设计使用年限不同，飞行区道面影响区地基沉降变形指标选择时一般采用与设计所用道面相同的设计使用年限。

地基或填筑体沉降稳定的标准对上部结构能否开始进行施工至关重要。因地基和填筑等因素的复杂性和资料积累的有限性，目前均采用根据变形监测数据进行分析，推算工后沉降和工后差异沉降是否满足条文规定来判别沉降是否稳定。

**4.3.1** 机场的边坡稳定性分析与公路路堤类似，条文参考了《公路路基设计规范》JTG D30-2004对高路堤稳定性分析强度参数的规定。需进行边坡稳定性分析的机场边坡一般地基较差或填方较高，机场大面积挖填的填料种类一般复杂多样，通常可在边坡填筑时选择性质较好的填料。因此，简化了公路行业规范中对边坡填料强度参数按渗透系数划分试验方法的分类。有些山区机场边坡填筑大粒径石料，常规大三轴试验设备无法试验，可采用经验参数，有条件时可进行现场直接剪切试验，逐渐积累经验。机场大面积挖填可能造成地下水改变，甚至进入填筑体，因此条文规定应采用饱水试件试验的情况为“可能被地下水浸没部分”，包括地基土和填筑体。

**4.3.2** 近年来，国内个别支线机场因边坡滑塌或滑坡带来较严重后果，机场作为生命线工程，不论等级高低、规模大小，边坡稳定问题均应充分重视，条文中边坡稳定安全系数不按岩土工程设计等级有所区别。表 4.3.2 中所列数值总结了重庆、昆明、武汉、九寨等机场的边坡设计经验，并参考了公路、建筑等行业的相关规范。

考虑到强度指标选择时，对填筑体和地基土浸水范围难以准确判定，施工期是否处于雨季也会对填筑体强度参数选择产生影响等因素，条文中稳定安全系数给出一定范围，当计算工况按不利情况考虑或有可靠资料及经验时可取小值，否则取大值。边坡填筑粗粒料时，目前多采用线性抗剪强度计算，可用表 4.3.2 中的值，根据土石坝的设计计算经验，采用非线性抗剪强度计算是比较合理的，其计算结果比线性强度指标计算结果偏高（《碾压式土石坝设计规范》SL274-2001对 6 座土石坝的计算平均值为偏高 17.81%），但由于目前采用非线性强度指标计算的工程比较少，经验也不多，还不能规定采用非线性抗剪强度指标的稳定安全系数标准。实践中采用非线性抗剪强度计算案例积累较多时，可完善该规定。根据机场总平面规划图，远期扩建将覆盖本次分析的边坡时，分析地震条件工况时可按小值选择稳定安全系数，该类边坡设计时，边坡防护也可相对简化处理。稳定安全系数与所采用的计算方法及采用的抗剪强度指标有关，也就是说对不同的设计计算方法和强度指标应该采用不同的稳定安全系数，稳定安全系数容许值的确定应充分考虑采用的计算方法及抗剪强度指标的影响。因稳定安全系数的选择与计算方法有关系，选择非条文所列计算方法时，应采用的稳定安全系数可能与条文推荐值差异较大，应另行选择与所选计算方法相对应的数值。边坡稳定影响因素无法在稳定性计算中完全考虑到，对计算结果应结合场地条件和工程经验进行综合判断，以分析评价边坡稳定性。

**4.3.3** 民用机场因障碍物限制面对高程的限制，一般情况下飞行区挖方边坡坡比较缓，挖方边坡稳定性问题不突出。障碍物限制面以外及机场工作区挖方边坡与公路路堑工况类似，可参考公路行业规范。《公路路基设计规范》JTG D30-2004 第 3.4.1 条和第 3.4.2 条对土质和岩质路堑边坡坡率规定如下：

边坡形式及坡率应根据工程地质与水文地质条件、边坡高度、排水措施、施工方法，并结合自然稳定山坡和人工边坡的调查及力学分析综合确定。一般情况下，土质路堑边坡高度不大于 20m 时，坡率不宜大于说明表 4.3.3-1 的规定值；岩质路堑边坡高度不大于 30m 时，坡率可按说明表 4.3.3-2 确定。

说明表 4.3.3-1 土质路堑边坡坡率

土的种类		边坡坡率
粘土、粉质粘土、塑性指数大于 3 的粉土		1 : 1
中密以上的中砂、粗砂、砾砂		1 : 1.5
卵石土、碎石土、圆砾土、角砾土	胶结和密实	1 : 0.75
	中密	1 : 1

说明表 4.3.3-2 岩质路堑边坡坡率

边坡岩体类型	风化程度	边坡坡率	
		H < 15m	15m ≤ H < 30m
I 类	未风化、微风化	1 : 0.1~1 : 0.3	1 : 0.1~1 : 0.3
	弱风化	1 : 0.1~1 : 0.3	1 : 0.3~1 : 0.5
II 类	未风化、微风化	1 : 0.1~1 : 0.3	1 : 0.3~1 : 0.5
	弱风化	1 : 0.3~1 : 0.5	1 : 0.5~1 : 0.75
III 类	未风化、微风化	1 : 0.3~1 : 0.5	—
	弱风化	1 : 0.5~1 : 0.75	—
IV 类	弱风化	1 : 0.5~1 : 1	—
	强风化	1 : 0.75~1 : 1	—

**4.4.1** 松散地基在荷载作用下会引起地基土层压缩，产生沉降，地基土层密实性差是地基沉降的因素。不均匀地基在荷载作用下会引起地基土层压缩差异，产生差异沉降，地基不均匀是地基差异沉降的因素，地形起伏、地质条件差异（如沟、塘、软弱夹层等）、填料多样、“交接面”及“搭接面”等均会引起地基的不均匀。均匀、密实是对地基的宏观、定性要求。

对填筑体的压实是提高地基强度和稳定性最有效、最经济的措施，应予以重视。根据近年来民用机场的建设经验，本条规定了高填方机场土石方压实指标。机场采用块（碎）石或土石混合料填筑时，采用压实度评价块（碎）石填筑压实程度可操作性较差，故采用固体体积率作为压实指标。

**4.4.2** 道基反应模量是刚性道面设计的重要依据，用于确定地基土强度类型、表征道基刚度。道基反应模量越大，道基越不容易变形。地基土层工程性质（强度、粘结性、级配、含水率等）和压实程度等对道基反应模量影响较大，宜按地基土层类型提出相应要求。条文对道基反应模量的要求是根据国内民用机场的建设经验提出的，如地基不满足此要求时可采取适当措施进行处理或通过调整道面设计来适应。

**4.4.3** 填料 CBR 值指标要求作为道床填料选择的依据，对保证道基填筑质量起重要作用。从已建民用机场道床土的使用情况看，经过干湿循环、冻融循环后，道床土的含水率比施工完成时含水率有一定提高，压实度及强度可能下降。说明在自然因素影响下，道床土的性能产生了变化。道床填料设计时，应考虑干湿循环、冻融循环等自然因素对道床土长期性能的影响，以及飞机动荷载作用下的道床永久变形问题。

## 5 岩土工程设计计算

**5.1.1** 对于飞行区，特别是跑道、滑行道和机坪区域，工后沉降和工后差异沉降有严格要求，因此飞行区的设计计算以变形计算为主；涉及边坡稳定问题的机场，应对边坡进行稳定性计算；飞行区场地附加荷载较小，一般不超过 50kPa，即使是软土地基，如浦东机场，地基承载力均可满足要求，因此一般情况下，可不进行地基承载力验算。

**5.1.3** 由于岩土工程技术理论的局限性和岩土参数的空间变异性，以及荷载代表值可能存在的误差，岩土工程设计计算结果往往存在一定的偏差。以地基沉降计算为例，均采用修正系数对理论计算结果进行调整，但修正系数取值范围大，在实践中需由工程技术人员凭经验作出判断。对于本规范规定开展了现场试验和专项研究的情形，应充分利用现场试验和专项研究成果，合理选择和调整计算参数。

**5.2.2** 分层总和法是目前工程中计算沉降最常用的方法。由于地基土类型和应力历史差异，以及软弱土地基加固方法不同，采用分层总和法时修正系数  $\psi_s$  取值范围很大。如《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 中，主要依据变形计算深度范围内地基土压缩模量当量值的大小， $\psi_s$  取 0.2~1.4；《公路路基设计规范》JTG D30-2004 关于软土地基沉降计算，综合考虑荷载大小、填土速率和软基加固方式等因素的影响， $\psi_s$  取 1.1~1.7。目前尚难依据机场建设中地基沉降积累的经验给出修正系数  $\psi_s$  取值范围，应结合现场试验和专项研究成果进行合理选择。对于存在具有明显次固结特征的地基土，如高塑性土和有机质土，其变形持续时间长，且与荷载没有关系，由于目前缺乏观测资料和相关经验，地基的沉降计算可进行专门研究，进一步积累经验。

条文只给出了利用压缩试验得到的孔隙比计算地基最终沉降量公式，沉降计算常用方法也包括下列公式：

$$s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{a_i (p_{2i} - p_{1i})}{1 + e_{1i}} H_i \quad (\text{说明 5.2.2-1})$$

$$s = \psi_s s' = \psi_s \sum_{i=1}^n \frac{\Delta p_i}{E_{si}} H_i \quad (\text{说明 5.2.2-2})$$

式中：  $p_{1i}$  ——第  $i$  分层土上下层面自重应力值的平均值；

$\Delta p_i$  ——第  $i$  分层土上下层面附加应力值的平均值；



$P_{2i}$ ——第  $i$  分层土  $p_{1i}$  与  $\Delta p_i$  之和;

$a_i$ ——第  $i$  分层土对应于  $p_{1i} \sim p_{2i}$  段的压缩系数;

$E_{si}$ ——第  $i$  分层土对应于  $p_{1i} \sim p_{2i}$  段的压缩模量。

其余符号同式 (5.2.2)。

**5.2.3** 在实际工程沉降计算的地层剖面中,可能同时存在欠固结土、正常固结土和超固结土,或者任两种固结状态地基土层的组合,地基的主固结沉降量为各类土压缩量之和。对于正常固结土, $p_{ci} = p_{1i}$ ,计算公式 (5.2.3-4) 同样适用于正常固结土。本条针对场地存在超固结土和欠固结土时,就考虑应力历史的地基沉降计算方法和参数确定方法作出规定,可作为第 5.2.2 条的补充。

**5.2.4** 与建筑物不同,机场因填筑面积较大,填筑体引起的附加荷载沿深度衰减缓慢,基本呈矩形分布。对于一般地基条件,计算深度可取至附加应力等于上覆土层自重应力 10% 的深度。但对于软土地基,其影响深度可达到深部的不可压缩层,一个极端的例子是填海建造的日本关西机场,建成至今沉降超过 11.5m。其软土厚度超过 300m,设计时沉降计算深度考虑不足,实际沉降量远超过预计值。鉴于机场工程附加荷载分布及其沿深度变化的特点,对于软土地基不宜用附加应力不超过自重应力 10% 来确定计算深度。

对于非软土地基条件,也可按《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 关于计算深度的确定方法,考虑机场工程特点,按沿深度不衰减这样的极端情况,当计算深度达到 40m 时,再增加 1m 计算深度而新增的沉降量,也能满足《建筑地基基础设计规范》GB50007-2002 给出下式的要求,因此一般情况下计算深度不超过 40m。

$$\Delta s'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta s'_i \quad (\text{说明 5.2.4})$$

式中:  $\Delta s'_i$ ——计算深度范围内第  $i$  层土的变形计算值;

$\Delta s'_n$ ——由计算深度向上取厚度为  $\Delta z$  的土层的变形计算值,  $\Delta z$  可取 1m。

**5.2.5** 对于饱和粘性土地基的工后沉降计算,可根据固结理论计算施工完成时地基土的固结度,依此推算施工期的沉降和工后沉降。而对于非饱和土及饱和砂卵石地层,施工完成时绝大部分沉降已经完成,目前并无成熟经验计算其施工期沉降和工后沉降,因此可参考当地经验确定,必要时进行专项研究。

**5.3.2** 总体上讲,边坡的稳定性分析方法可分为确定性方法和概率分析方法。国外有代表性的如英国岩土工程规范采用概率分析法,但在国内尚无法推广。具体到计算方法上,又可分为解析法和数值法。从国内外相关规范来看,仍以解析法为主,对于复杂的、大型的边坡工程,则利用数值法进行综合评价。从学术研究成果来看,能够考虑岩土材料应力—应变关系,将静力场与运动场结合起来的极限分析法,相对于经典极限平衡法更加合理,计算结果也更加精确,例如常用的 Morgenstern-Price 法。

条文推荐采用极限平衡法作为边坡稳定性分析的方法,从两个方面考虑: (1) 极限平衡法已经被工程界广泛接受,写入规范易于推广; (2) 极限平衡法的精度取决于所采用的具体方法,

如瑞典法误差偏大，但简化 Bishop 法完全可以满足工程要求。况且，边坡稳定性分析结果的误差不仅仅源于计算方法，其他因素的影响更大，如破坏模式的假定和计算参数的选取。

**5.3.5~5.3.7** 条文参照《公路路基设计规范》JTG D30-2004 的有关规定，提出了机场工程填方边坡稳定性分析方法。对于机场工程中挖方土质边坡和破碎岩质边坡，也可参照进行分析计算。

## 6 场地平整

**6.2.1** 场区内开挖的土石方材料性质多样时，可考虑遵循的填料调配原则包括：（1）充分考虑不同场地分区对变形、强度等的不同要求，飞行区道面影响区、填方边坡稳定影响区等采用性质较好的填料，其他的填料可填筑于飞行区土面区、工作区等；（2）就近调配，减小运距，降低造价；（3）植物土避免外弃，可用于飞行区土面区、工作区等绿化的覆土；（4）考虑道基压实标准相对较高，可在竖向上将性质较好的填料用于靠近道面区域的道基填筑。

**6.2.3** 填筑体与原地面交接处道基顶面设置褥垫层可减小填方区和挖方区的强度和刚度差异，减小填挖交接面处道面下应力集中。

**6.2.4** 飞行区土面区挖方区表层填土绿化可防止扬沙扬尘影响飞行安全，并有利于环境保护，同时不违背《民用机场飞行区技术标准》MH5001 关于升降带强度的规定。

## 7 飞行区特殊性岩土

**7.1.2~7.1.3** 特殊性岩土地基处理试验以验证设计和指导施工为主要目的，为保证工程质量，特殊性岩土地基上的民用机场工程应提前进行地基处理试验。因地基处理试验属前期工作，具有指导作用，故要求在工程全面开工前取得试验成果。

地基处理试验研究内容应针对工程设计与施工中的主要问题，对地基处理工艺、工法进行现场试验研究，验证地基处理方法的场地适应性与处理效果，优化确定地基处理技术参数，研究评价地基处理效果的检测、监测方法，为大面积地基处理提供依据与技术支持。

由于地基试验存在不确定性，如试验不成功，有时进行二次处理较困难，试验位置的选择应尽可能减少其对全场工程建设的影响，应选择地质条件有代表性的区段。

**7.2.1** 如将软弱土按一般土对待，会在设计和工程实施过程中低估甚至忽视其对工程的不利影响，这曾给多个民用机场带来地基沉降过大或边坡失稳等程度不同的工程危害。

地基土层中存在较多软弱土夹层或存在较大的软弱土透镜体时，对地基的工后沉降，尤其是工后差异沉降，以及强度影响较大，往往不能保证地基的稳定，或不能满足地基工后沉降的控制

标准，应采取相应的地基加固措施。

沟、浜、塘等属于场地环境应考虑的因素，填挖方高度、工期等属于工况应考虑的因素。

**7.2.2** 天然地基沉降可按本规范第 5.2 节的规定计算，处理后的地基沉降可按《建筑地基处理技术规范》JGJ79 相应规定计算。民用机场地基承受的荷载具有大面积荷载特征，其影响深度大，沉降计算深度应考虑大面积荷载的影响。大面积荷载作用引起的沉降变形深度较大，选取计算参数的试验受力状态应与具体土层的实际受力状态相一致。沉降控制的方法较多，应选用经济节约、可靠性高、可控性好、便于操作的沉降控制方法，地基处理时机的选择应综合考虑现场条件、建设工期等因素。

**7.2.3** 软弱土地基的稳定性验算应按施工期和运行期的荷载分别计算稳定安全系数。施工期的荷载只考虑填筑体自重，运行期的荷载包括填筑体自重、道面荷载及飞机等活动荷载。软弱土地基采用堆载预压处理时，应进行堆载工况下稳定性验算。

机场工程施工的荷载并非瞬间填（铺）筑到设计高度，而是按照一定的施工速率逐渐填（铺）筑。当在强度较差的软弱地基上建设机场时，可考虑采取分级加载的方法验算地基固结强度提高后的稳定安全系数。

**7.2.4** 软弱土地基应优先采用技术成熟可靠、可操作性强、质量可控性高、经济节约的处理方法。大量实践证明机械压（夯）实、堆载预压、真空预压、换填垫层、复合地基等方法处理软弱土地基是有效的，设计时应根据具体工程条件选用场地适用性好、质量可控性高的方法。

目前对机械压（夯）的影响深度和有效影响深度认识不一，地基条件（土层特性、地下水埋深等）对处理深度影响较大，如无可参照的工程经验时，处理有效深度宜通过现场试验确定。

采用塑料排水板或砂井等进行堆载预压和真空预压时，应在塑料排水板或砂井等顶部设置排水层或采取可靠的排水措施。采用塑料排水板或砂井等人工竖向排水通道时，应考虑其对地基土产生扰动后的强度降低。这种强度的降低在设计计算时并未考虑，为了减小计算条件与实际差异造成的处理效果降低，一般应有不小于 6 个月的预压期。采用袋装砂井时，为方便施工及保证施工质量，其长度不宜太大；若根据计算确实需要很长的砂井时，可考虑用塑料排水板或类似的复合排水体代替。采用塑料排水板真空预压时，考虑井阻作用使真空度随深度衰减及涂抹作用，插板深度一般不超过 15m；采用堆载预压或真空联合堆载预压时，插板深度可适当增加。加固区存在渗透系数较高的透气、透水层（如水平砂层）时，真空预压不易形成有效负压，应采用封闭措施（如搅拌桩隔离墙）将加固区封闭起来。

换填垫层时应注意对软弱地基的保护，可采用粉煤灰、泡沫聚苯乙烯（EPS）等轻质材料换填，以减少挖填土方产生的附加应力。公路工程中粉煤灰填筑路堤的加权平均重度约  $15.6\text{kN/m}^3$ ，与一般填料相比可以起到减小地基沉降的作用。泡沫聚苯乙烯（EPS）密度和块体大小可根据需要生产，路堤工程中一般采用的重度为  $0.2\text{kN/m}^3$ ，用它减小沉降比粉煤灰有效得多，但造价很高，大量使用尚有困难，一般只用在构造物等局部重要部位。由于 EPS 材料密度比水小，当有可能受水浸泡时需要考虑路堤的抗浮稳定性。民用机场工程中目前还没有使用 EPS 的经验，使用时除进

行上述分析，还应进行强度和压缩性分析。

实践证明采用换填、注浆、搅拌桩复合地基处理局部软弱土层以及暗沟（塘）等是有效的。如浦东机场采用换填处理暗沟（塘），广州新白云机场采用注浆处理局部软弱土层。

**7.2.5** 与工民建、道路等工程相比，机场工程面积较大，大面积的场地可能存在多种工程地质问题，单一地基处理方法往往无法满足沉降与稳定性要求，不同地基处理分区之间是处理的薄弱环节，易引起差异沉降，不同地基处理分区应采用可靠的过渡衔接措施使地基均匀。

**7.2.7** 沉降是软弱土地基上修建民用机场的关键问题之一，沉降控制标准在本规范第 4.2.1 条有明确规定。监测实际发生的工后沉降理论上需要较长的时间（至设计使用年限），设计和施工阶段的工后沉降一般通过沉降计算和沉降监测分析的方法取得，以确定地基处理设计方案和判定地基沉降是否稳定。根据沉降监测数据推算工后沉降并作为沉降稳定判别标准，在实际操作中较为复杂，沉降速率的计算和使用相对简便。实际工程经常采用沉降速率来判定沉降是否稳定，国内软土地区高速公路和部分软弱土机场采用此标准，实践证明是有效的。沉降速率和工后沉降之间没有确定的对应关系，通过沉降监测数据推算工后沉降时，可同时分析沉降稳定时的沉降速率。受场地条件、地基处理方法、施工工况等多种因素影响，具体工程的沉降稳定标准各异，而且机场工程在这面积累的经验较少，目前尚难对沉降稳定的沉降速率标准作出统一规定。实际工程中，应根据预测的工后沉降是否符合规定来判定沉降是否稳定，可同时采用推算的沉降稳定时的沉降速率进行初步判别，逐步积累经验。

**7.3.2** 条文对不同湿陷等级地基的处理要求均以剩余总湿陷量不大于 200mm 控制，对湿陷引起沉降的控制标准，采用本规范第 4.2 节关于工后沉降规定的低限。条文参考了《湿陷性黄土地区建筑规范》GB 50025-2004 第 6.1 节对甲、乙、丙类建筑的地基处理厚度和《公路路基设计规范》JTG D30-2004 第 7.9.4 条对高速公路和一级公路地基处理深度的要求，在控制剩余总湿陷量的条件下，对不同湿陷等级地基规定了相应的最小处理厚度。

**7.3.3** 条文关于冲击碾压处理湿陷性黄土厚度参考了《公路冲击碾压应用技术指南》总则的说明：冲击压路机冲击能量以 25kJ 为基本型号，其三边形冲击压路机处理湿陷性黄土地基的有效影响深度为 1.4m 左右。

**7.3.4** 在湿陷性黄土地基处理及土石方施工过程中，降雨会对已经完成的工程造成不同程度的损坏，且近年来气候变化频繁，原本干旱的黄土地区降雨量明显增加，因此，有必要及时设置临时排水措施。另外，在有地表水或地下水活动的地段，为防止水的影响，应采取必要的截水、排水及防治渗漏等措施，设置必要的防护工程，在坡脚、坡脚至外围排水沟之间等重要位置，应进行封闭防渗加固，水沟也应进行防冲防渗加固。

**7.3.5** 边坡高度小于 20m 的边坡形式和坡率，根据公路路堤经验，采用条文规定可保证边坡稳定，边坡高度大于等于 20m 时属于高边坡，其设计与一般边坡多有不同，应按照高填方工程的特点和要求进行专项设计。

**7.3.6** 条文综合了《铁路特殊路基设计规范》TB10035-2006 和《公路路基设计规范》JTG D30-2004

的要求，其中边坡形式均有所简化。

**7.4.4** 开挖扰动后的膨胀土虽然经过压实，由于叠聚体排列更紧密以及原有结构连接部分被破坏，其胀缩趋势增强，膨胀量比原状土大几倍或更大，膨胀率和收缩率都远高于原状膨胀土，为此规定强膨胀潜势的膨胀土不应作为飞行区道面影响区和边坡稳定影响区填料。膨胀土改良可采用二灰（石灰和粉煤灰）或石灰改良（据南昆铁路膨胀土改良经验，掺二灰比单纯掺石灰效果好），建议遵照以下要求：（1）二灰或石灰改良土的拌合方法采用路拌法。（2）填土：松铺厚度一般不大于 300mm。（3）平整：用推土机将填料摊铺整平。若膨胀土较湿时，应翻耕晾晒。可用核子仪快速检测含水率以确定晾晒时间及洒水量。用平地机初平，使各处填土厚度均匀，用压路机快速静压一遍。（4）掺灰拌合：根据掺灰量计算二灰或石灰摊铺所需厚度，或折算为每平方米所用的二灰或石灰质量。（5）碾压前检测：首先检测石灰剂量，将现场拌合好的二灰土或石灰土取样，通过 EDTA 标准溶液滴定，来确定石灰剂量是否符合要求。其次检测改性土的含水率，并控制在最佳含水率的-2%~+3%范围内，必要时需晾晒或洒水。（6）碾压阶段：用重型振动压路机进行碾压，先静压再振动碾压再静压，从两边往中间，先慢后快，压路机行驶速度不超过 4km/h，碾压应大致平整，当天填筑应当天压实。压实度与碾压机械的选择有关，土质变化时可适当调整碾压遍数，直至压实度满足要求。（7）针对膨胀土的二灰或石灰改良处理，应符合“短平快”处理原则，即在短时间内完成摊铺、掺拌和碾压工序，建议结合施工试验针对不同的压实工艺进行效果比对，以提高工效为目的。

**7.5.1** 截至目前，民用机场修建时遇到的盐渍土地基主要是盐胀性的，如：敦煌机场、阿里机场等；尚未遇到溶蚀性盐渍土的工程实例，因此应对此类问题进行专项研究。

**7.5.2** 常用的盐渍土道基病害防治方法有：提高道基高度、换填粗颗粒土，设置砂或砾石隔断层和土工布（膜）隔断层等。本条中道基顶面最小高度的确定、换填厚度的选择、隔断层材料选择、隔断层位置确定参考了《公路路基设计规范》JTG D30-2004 第 7.10.3 条及其条文说明相关内容。

砂或砾石隔断层的厚度可参考《铁路特殊路基设计规范》TB10035-2006 第 6.2.5 条对渗水土隔断层厚度的规定：渗水土隔断层的厚度不宜小于 50cm，隔断层顶面应设厚 15cm 的反滤层，底面应设厚 10cm 的砂垫层。

当飞行区土面区采用盐渍土填筑时，在道面与土面区之间应设置隔断层，以防止盐渍土对道面的腐蚀。隔断层可采用隔水复合土工膜、粘土层等。

敦煌机场改扩建工程地基处理时设置了隔水复合土工膜隔断层，土工膜之间采用热焊法连接，复合土工膜将换填层包裹住并密封起来，在整个处理范围内形成连续的防水隔断层，以防止处理范围外的盐分侵入。复合土工膜材料具有良好的防渗性能，在 0.2MPa 压力下不透水，渗透系数小于  $5 \times 10^{-11}$  cm/s，并具有良好的耐腐蚀性。至 2013 年，使用已近 11 年，道面使用状况良好，没有出现病害现象。

**7.5.4** 飞行区土面区设计高程以下 200mm 以内不选用盐渍土作为填料是为了飞行区土面区绿化。

**7.5.5** 对盐渍土地区排水，应有足够重视，应保持排水通畅，顺利排出道基内部积水，保证道基稳定。应根据地质、水文情况，设置必要的地表、地下排水设施，结合河流、农田灌溉渠，形成良好的排水系统。

**7.6.2** 条文将针对抗冻采取的特殊措施，以及因为抗冻而采用与一般地基设计不同的指标，均归纳为抗冻措施，便于设计时系统考虑。

1 地表排水是道基抗冻的第一步，要求设截水沟和排水沟以拦截来水和排除场内水。地基排水主要指泉水或集中水流，应设置暗沟或暗管排除。渗沟用于排除道基浸入水及春融期道基中融化水，不宜设在道肩范围以内，避免沉降和冻胀不一致导致道面开裂。渗沟设置检查井是便于排水不畅时查找原因。无平面排水条件时可设置渗水井排除道基中水分。水田等低洼湿软地基采用透水隔离层可隔断毛细水和冻结水上升，又能排除道基渗入水。机场飞行区因为平整度的要求不宜在边坡设置拦水埂，但应对截水沟采取防渗措施。飞行区土面区排水沟如采用暗沟则易堵塞及冻胀损坏，故提出不宜使用。提高设计高程是一种效果显著的排水措施，但对机场飞行区竖向设计来说，高程提高通常意味着增大填方工程量，因此应在减少挖方深度或增加填方高度与其他措施进行经济技术比较后选择。另外填筑施工中的水也应排除，以免引发冻害。

2 土质不良引发的冻害无法治愈，只有通过换填不冻胀材料才能稳定，建设过程中一次性解决抗冻问题非常必要。道床是冻胀影响最严重的范围，条文对其填料进行严格规定。道床填料可优先选择矿渣、炉渣、粉煤灰、砾石及碎石等抗冻稳定性较好的材料，这些材料不冻胀需满足两个条件：一是土中粉粘粒含量应小于 12%（此时的冻胀率仍能达到 1%~2%），二是冻结期间土中的水分能自由排出。道床下填筑粉砂、粉土和粘性土时，可用石灰、水泥、粉煤灰、矿渣、固化剂等单独或混合进行改善处治。压实度越高抗冻性越高，当达到标准击实的最大密度时冻胀降低至零，因为冻结水迁移量减少，上升高度降低，且降水不易渗入。因此条文对压实度要求比一般道基更高。

除上述抗冻措施外，尚有道面设计的抗冻垫层、设置防冻隔温层和道面抗冻设计等。

**7.6.3** 设计原则参考了《公路路基设计规范》JTG D30-2004 第 7.11.1 条、《铁路特殊路基设计规范》TB10035-2006/J 158-2006 第 7.1.9 条和《冻土地区建筑地基基础设计规范》JGJ118-2011 第 4.1.2 条的规定，结合机场飞行区的特点，分为保护、不保护和破坏三类。

设计原则考虑了多年冻土的含冰和地温特点以及飞行区施工特点，具体采用何种原则应进行技术经济比较后确定。所谓保护是指，对大片多年冻土和地温较低、保温条件好的岛状多年冻土，适宜采取有效工程措施保护其生存条件，维持原有的稳定状态，飞行区大面积填挖方难以保护时，适宜采取工程措施控制多年冻土融化速率，使其有一定程度融化但控制在可接受的范围内；所谓不保护是指，多年冻土在融化时，其沉降（含融化沉降和压缩沉降）不超过允许值，且采用保护冻结的措施又不经济时，按一般场地进行设计；所谓破坏是指，施工及运行期间人为活动影响较大，地温极高、地面保温条件差的多年冻土分布区，多年冻土沉降超过允许值，适宜先期破坏其存在条件或加速其融化，使之可按一般场地设计。

多年冻土上限以上的季节融化层和上限下降部分为可压缩土层，不论采用何种设计原则，均

应计算可压缩土层的融化沉降和压缩沉降。根据沉降和冻土自然条件确定设计原则，并考虑施工完成前的预留沉降量作为施工阶段的道基加高值。

漠河机场为永久冻土场地，因其强融沉性和冻土年均地温较高，抗冻措施按融化的设计原则进行设计，换填砂砾石和碎石土，对道基填料质量控制、挖方验槽的检验和填挖过渡段的处理都较严格，且在跑道、联络道、站坪基础两侧基底处设尼龙透水管，以排除施工养生和地表降水渗入道面下基础和垫层的水分，防止因冻胀影响土体稳定。经三年运行排水效果很好，跑道、联络道、站坪没有冻胀现象发生。

高含冰冻土指富冰冻土、饱冰冻土和含土冰层。不良冻土工程地质现象指冰丘、冰锥、多年冻土沼泽、热融湖等。

多年冻土地基为高含冰量冻土时，处理方法如下：（1）按保护多年冻土的原则设计时，应加强地面排水，最小填方高度应满足防止冻胀翻浆的要求，且保证冻土上限不下降，填方高度不能保证时可设置工业保温材料层；填方较高时可在边坡处采用土工格栅或土工格室等加强，防止沿边坡走向产生裂缝。（2）挖方区、填挖交界、低填方区应进行换填，换填厚度经热工计算应满足保温层厚度要求，填方区和挖方区换填基底应顺接。采用碎石土作为换填材料时，应在地面上设置复合土工膜防渗层，防止地表水渗入，防渗层顶面横坡应不小于 4%。边坡应做好保温层、加固及排水设施等。（3）不稳定多年冻土区道基应根据冻土的分布、填料、填挖及地温的情况采用冷却地基、设置保温层等措施综合处理，保温层设置应根据热工计算确定。对冻土厚度较小、埋藏较浅的区段，也可将其清除。不稳定冻土指温度为  $0.0^{\circ}\text{C}\sim-1.0^{\circ}\text{C}$ ，粉粘粒含量不大于 15%，总含水率大于 48% 且体积含冰量大于 0.3 的粗颗粒土，粗颗粒土包括碎（砾）石土、砾砂、粗砂、中砂。

多年冻土地段为不良冻土工程地质条件时，处理方法如下：（1）冰锥、冻胀丘地段应做好排水，并应采取防治冻胀措施。冰锥、冻胀丘地段防治冻胀的措施包括采用透水性好的材料填筑，堵截地下水，对常年性融区应加强排水措施。（2）热融湖塘地段应根据地基融化和发展情况以及积水深度选用填料和防护加固措施。当湖塘面积不大时，可抽干积水，换填砂砾或抛石挤淤；面积较大时，可在填筑影响范围内设围堰抽干积水，挖除基底松软土层，换填透水性材料，并针对沉降采取必要的地基处理措施。在厚层地下冰地段，由于自然营力或人为活动影响破坏了多年冻土的热平衡状态，使地表沉降形成凹地积水时，就形成热融湖塘。热融湖塘地段填筑时，首先应查明湖塘底部的地下冰层是否已融完，如尚有冰层继续融化，会对道基稳定产生影响。其次应考虑积水对道基稳定性的影响，一般水下部分应采用透水性或水稳性好的材料（粉粘粒含量小于 30% 的碎石类土）填筑，水较深或地基松软时应采取加固措施；如水面较宽还有风浪，填方坡面还应采取防护措施；如工后还可能继续沉降，不但需考虑预留沉降的填土加高值，在挖除基底松软土层换填透水性材料时，换填材料的顶面应在沉降后高出冻前积水水位不小于 0.5m。（3）沼泽地段应根据沼泽特点、积水深度、多年冻土类型，按照保护多年冻土的原则设计，并采取加强排水、预留沉降、消除冻害的综合措施。冻土沼泽地段一般地形平坦、地势低洼、地表潮湿，甚

至具有常年积水、泥炭层较厚、季节融化层土质松软、含水率大、上限以下冻土含水率大等特点，保护多年冻土是为了保护自然条件和地质环境，从而保护道基稳定。冻土沼泽地段应避免挖方、低填浅挖和不填不挖，如不可避免时，应将泥炭、腐殖土挖除换填，换填深度根据热工计算确定。对地下水应采取拦截、排除、阻隔措施。根据东北地区铁路建设经验，为防止冻胀一般可在铁路路堤底部设置毛细水隔断层。铁路青藏线在地下水不易疏干地段采用路堤底部填筑块、片石，以尽可能少地改变原地面的水热平衡状态，同时也起到阻断毛细水的作用。根据铁路建设实践，毛细水隔断层的顶面高出冻前水位时才能起到防止冻胀的效果，因此隔断层顶面应在沉降后至少高出冻前水位 0.5m。

**7.6.4** 地面防渗层可设置复合土工膜防止地表水渗入。

**7.6.5** 多年冻土场地应考虑水在地基中渗流的影响。水携带的热量促进多年冻土的融化，边坡坡脚积水会引起多年冻土上限下降引起严重沉降。填筑后边坡坡脚可能造成积水或排水困难的位置，应填土压实整平并设 4% 的向外排水坡。采用渗沟排除地下水时，渗沟及检查井均应采取保温措施，出水口的位置应选在地势开阔、高差较大、纵坡较陡、向阳、避风等处，并采用掩埋式椎体或其他形式的保温措施。

**7.6.6** 冻土环境保护对于多年冻土地区建（构）筑物的安全和稳定性具有十分重要的意义，特别是生态环境较为脆弱的冻土地区，环境保护尤其重要。例如：地表覆盖物热阻较大时，会成为良好的保温层，可为多年冻土的保存创造极为有利的条件，设计时应注意减小破坏植被的范围，并在工程建设完成后恢复植被；建（构）筑物周围积水可形成热融湖塘，破坏多年冻土，造成日夜融冻反复循环而剥蚀建（构）筑物；场外取土应避开建（构）筑物，避免加大季节冻深或造成多年冻土融化而破坏基础稳定。除设计时考虑对环境的保护外，尚应加强监测工作。在多年冻土区保护好冻土环境就是保护建（构）筑物的安全和稳定性。

**7.6.7** 季节冻土地区挖好的基槽底部不宜留有冻土层（包括开槽前已形成的和开槽后新冻结的），当土质较均匀，且通过计算确认地基土融化、压缩的下沉总值在允许范围之内（符合地基变形要求），或当地有成熟经验时，可在基底下存留一定厚度冻土层。

**7.7.1** 填土是指人类活动或自然因素新近形成的土，根据物质组成和堆填方式，可分为下列四类：

- （1）素填土：由碎石土、砂土、粉土和粘性土等一种或几种材料组成，不含杂物或含杂物很少；
- （2）杂填土：含有大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾等杂物；
- （3）冲填土：由水力冲填泥砂形成；
- （4）压实填土：按一定标准控制材料成分、密度、含水率、分层压实或夯实而成。

填土地基设计与施工质量在很大程度上取决于地质资料的真实性和评价的可靠性。设计者提出勘察技术要求时应注意，不同的物质组成应采用不同的勘察手段或多种手段组合使用，对成分复杂、均匀性很差的填土除采用钻探，还需有一定数量的探井。

**7.7.2** 有机质含量高、有腐蚀性、成分较复杂、性质变化较大的填土不应作为地基土，将其作为地基土利用时应持慎重态度，需进行地基处理试验以验证其有效性并评估工程风险。

**7.7.3** 填土处理应以就近利用为原则，减少土方外弃，宜选用处理效果好、经济节约的方法进行



处理，如：换填法、分层压实法、振动碾压法、冲击碾压法、强夯法等。填土成分不适宜作为地基土时，可采用换填法处理；填土厚度不大且成分适宜作为地基土时，可将地下水位以上的填土逐层挖除并分层回填压实，分层压实法的开挖、回填造价相对较高，处理深度不宜过大；填土成分适宜作为地基土，且厚度不大于振动碾压或冲击碾压有效影响深度时，可采用振动碾压法或冲击碾压法处理；强夯法处理深度相对较大，一般受地下水位和填土含水率影响较小，在不停航施工工程、施工场地周边或地下有建（构）筑物使用时，需考虑强夯机械高度、强夯施工引起振动和侧向挤压等因素的影响。

## 8 飞行区不良地质作用

**8.2.1** 岩溶类别繁多，条文将岩溶分为地表岩溶和隐伏岩溶两大类，与《工程地质手册（第四版）》中岩溶地貌分类一致，且这一分类方法应用于西南地区多个机场的岩溶发育场地，工程实践表明其对勘察、设计、施工指导效果良好。地表岩溶包括岩溶洼地、岩溶漏斗、地面塌陷、落水洞、溶沟、溶槽、石芽、石笋等，均发育或出露于地表；隐伏岩溶包括溶洞、土洞（指埋藏在岩溶地区可溶性岩层上覆土层内的洞穴）、地下暗河等，均隐伏于地面以下。

岩溶处理所采用的方案应因地制宜，确保施工人员安全（正在塌落的溶洞人工不宜入内施工），保证处理后满足工程使用要求，不应堵塞、污染地下水或产生其他环境问题，造价经济且便于施工。

因岩溶尤其是隐伏岩溶通常分布多样、形态复杂，初步勘察和详细勘察等通常只能查明其位置，对其形态反映不足，应通过施工勘察进一步确定其位置及形态，才能有效指导施工。

**8.2.2** 地表岩溶因充填物一般不密实，且出露地表易于处理，除经充分论证其确实稳定不再发展，且沉降变形及强度均符合要求外，一般都应进行处理。

岩溶漏斗、岩溶洼地和地面塌陷的处理对象主要是岩溶内充填物，可强夯密实，不具备强夯施工条件时可挖除充填物，换填性质较好的填料。落水洞处理目的是，充填或覆盖洞穴，保证处理后的强度，同时防止管涌，避免洞穴进一步发育。昆明长水机场落水洞采取的反滤措施为，从洞底至洞口采用由大到小逐级不同粒径的碎块石分层干砌填筑并强夯（洞径较小时在洞顶强夯），洞口外延一定范围铺设土工织物，土工织物上、下铺设砂砾石保护层。石芽、石笋一般与溶槽共生形成土岩组合地基，与其间充填物（如红粘土）组成的不均匀地基易导致差异沉降，对边坡则应注意其稳定性问题。

**8.2.3** 《工程地质手册（第四版）》规定了岩溶对地基稳定性的定性和定量评价方法，依据为勘察资料，包括洞体形态及埋藏条件、顶板与覆盖层状况、充填情况、地下水情况、场区地震情况、场地使用条件（荷载、填料及场地分区等）。表 8.2.3 的岩溶稳定性判别方法为采用岩溶顶板厚度或其与洞径之比进行判定的经验方法，表中判别条件总结了广州新白云机场、昆明长水机场等

工程的实践经验，可与《工程地质手册（第四版）》的方法对比使用。

**8.2.4** 对隐伏溶洞采取强夯处理的目的是预施加作用力破坏稳定性较差的顶板，同时加固覆盖土层，是防治结合的措施。确定强夯处理范围的影响因素较多，具体工程可根据实际情况确定。昆明长水机场强夯处理的范围按  $D+2H$  考虑（ $D$  为洞体直径， $H$  为顶板厚度），是按坍塌的扩散角估算的。

**8.2.5~8.2.6** 与溶洞不同，土洞受岩溶水排泄顺畅情况和地下水在土岩交界面的活动情况影响较大，极易发展为塌陷，危害大，应彻底处理。土洞和塌陷的发育与下面的岩溶通道有关，有了岩溶通道，土粒才能流失，故需堵塞通道，否则治标不治本。岩溶发育因水而起，堵截地表水有助于减缓岩溶发育，尤其是岩溶土洞。地下水的疏导可避免或减少水位抬升浸泡填筑体及场地季节性淹没，同时可减小下游岩溶塌陷的可能性。

**8.2.7** 物探、钻探等勘察方法均有其相对性和局限性，工程实例表明，勘察难以完全发现所有岩溶。强夯法曾成功应用于贵州某机场和云南某机场隐伏溶洞的发现，冲击碾压法曾成功应用于广东某机场隐伏土洞的发现，效果良好。

**8.3.1~8.3.3** 机场岩土工程设计时一般已进行了相应的勘察，这些勘察大都是针对现状条件进行评价的。由于山区机场场地平整的土石方工程量巨大，随着场地平整的实施，一些已有的滑坡可能被消除，也可能复活或加剧，另外也可能会引发新的滑坡。因此，需对整个机场工程所涉及区域范围内的已有滑坡，以及受施工或其他因素影响有可能形成的新滑坡，结合场地平整方案，进行现状和预计工况条件下的稳定性分析评价。治理滑坡一般来讲费用高昂，对于随工程实施将被消除的滑坡无需治理，而对于受工程影响可能复活或加剧的滑坡，以及可能引发的新滑坡，可以结合调整场地平整总体方案等方法予以避免或减轻影响，从而在总体上降低工程风险和工程造价。

**8.4.2** 本条液化处理的原则是：（1）按跑道、滑行道和机坪区别对待；（2）考虑后果及可修复性；（3）处理深度考虑处理工艺及经济性。从机场作为生命线工程的角度，应该在地震液化时保证飞机可以起降，主要确保跑道可正常使用，其次确保滑行道和机坪可使用。飞行区土面区对机场运行影响较小且易于修复，对飞行区土面区液化土地基可不考虑处理。

从机场建设实际情况出发，有些场地如果全部消除液化沉陷会受到一些客观条件的限制，而且会大幅度增加地基处理的投资。本条提出的抗液化目标是：对跑道，应保证震后不影响救援使用，应尽量避免发生液化；对滑行道和机坪，轻微液化对正常运行影响不大，短时间可以修复，故不采取措施，中等液化和严重液化影响较大，应尽量避免发生。

我国现行技术标准中，《建筑抗震设计规范》GB50011、《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01、《水工建筑物抗震设计规范》DL 5073 和《碾压式土石坝设计规范》DLT 5395 均涉及可液化土层的处理问题。其中《建筑抗震设计规范》GB50011 和《公路桥梁抗震设计细则》JTG/T B02-01 均根据建（构）筑物的重要性等级和地基液化等级提出了笼统的地基抗液化措施。在这些抗液化措施中，一方面是消除场地液化，包括部分消除和全部消除两个等级；另一方面是采取基

基础和上部结构抗震措施，这方面对飞行区抗液化并不适用。另据调查，美国和日本并没有专门的民用机场岩土工程设计规范，在公共数据库中尚未查到机场可液化土地基处理的具体技术规定。

可液化土地基对飞行区道面的影响主要表现在地震时地基突然丧失部分或全部承载能力。地震时可液化土地基强度的丧失与地基液化等级密切相关，因此，条文对不同地基液化等级的场地，提出了不同的抗液化技术要求。飞行区道面影响区荷载均匀，道面范围大且整体性好，这些特征有利于抵抗地基的不均匀沉陷。防止和减轻液化的措施，可采用地基处理和增加覆盖层厚度。对道面影响区全部消除地震液化沉陷的深度要求，是根据民用机场飞行区地基处理实践经验和施工工艺水平等提出的。飞行区道面影响区范围较大，从经济性角度考虑，不宜大面积采用复合桩基或复合地基形式，目前广泛应用的冲击碾压以及不同能级的强夯处理工艺，可满足道基顶面以下1m~5m的处理深度要求。飞行区场地平整时的填挖方会导致覆盖层厚度变化，考虑地基处理方案时，应考虑填挖以后的覆盖层厚度变化，即处理深度从道基顶面起算。

具体的抗液化地基处理措施由设计者根据情况把握，处理后应检测并符合条文的判别标准。

**8.4.3** 地震作用下飞行区发生大面积侧向滑移的条件，一是场地内存在连续的有一定厚度的可液化土层，在地震作用下强度丧失；二是场区内或周边存在斜坡（包括小角度斜坡）或临空面；两个条件同时具备时可能发生侧向滑移震害。1920年宁夏海原8.5级大地震时，在固原清水河四级黄土台原的马兰黄土中，发生了大范围的黄土低角度滑移，造成了严重的震害。目前国内外机场工程未有这种震害类型的报道，但对该问题仍应重视。因此，本条强调如不能排除侧向滑移的风险，则应进行专项研究以确定是否需要处理。

**8.4.4** 条文参考《建筑抗震设计规范》GB50011、《公路桥梁抗震设计规范》JTG/TB02-01、《水工建筑物抗震设计规范》DL 5073和《碾压式土石坝设计规范》DLT 5395，结合民用机场飞行区地基加固，特别是消除场地液化的地基处理实践经验，提出了消除或减轻地基液化影响的措施。

**8.5.1** 机场建设在选址阶段应避开采空区，特别是仍不稳定且难以治理的采空区。条文规定是指选址无法避开，部分场区受采空区影响的情况下，如烟台潮水机场，宜将采空区调查评估列入专项研究，为后续采空区治理提供详实资料。

## 9 专项工程设计

**9.2.1** 当现有飞行区跑道、滑行道和机坪等设施不能满足机场发展的需要时，或道面损坏（或沉降变形）严重影响机场正常使用而需要大修时，需要开展和实施飞行区不停航施工工程。与新建飞行区工程相比，飞行区不停航施工工程的主要特点是在工程建设阶段应保证现有飞行区设施的正常运转和飞行安全，即不停航施工。由于不停航因素，常规岩土工程设计无法正常实施或施工非常困难时，需报请行业主管部门批准，及时进行设计调整。

**9.2.2** 与现有飞行区设施相比，飞行区不停航施工工程在场区地质条件基本相同的情况下（特别是软土地区），其工后沉降速率比较大，容易引起新旧道面衔接区域产生差异沉降，引起错台或积水，严重时会导致道面断裂或道面下管线及周边管线损坏，影响飞行区正常运行。通过不停航施工工程的岩土工程设计，基本消除或减缓新旧道面之间的差异沉降，满足新旧道面的变形协调。飞行区不停航施工工程在设计使用年限内的工后沉降和工后差异沉降参照本规范第 4.2.1 条的规定。

**9.2.3** 障碍物限制面要求是指，施工工艺和工序应满足《民用机场飞行区技术标准》MH5001 关于进近面和过渡面等障碍物限制面的要求。升降带和滑行带平整范围的场地要求包括：飞行区不停航施工工程位于升降带内，不应存在可能对飞机构成危险的物体，比如水泥石搅拌桩桩机和塑料排水板插板机等，上述机械可在每天停航之后视作业效率情况进场施工，并能满足随时退出升降带的适航要求；飞行区不停航施工工程位于《民用机场飞行区技术标准》MH5001 规定的升降带内不应有固定物体的范围内，不应出现固定的物体，比如预压法地基处理的堆载体；所有固定物体不得超出内过渡面或复飞面；滑行带内不得有危害飞机滑行的障碍物。现有道面及周边管线的保护和监测要求是指，应尽可能保证现有道面不发生过量的沉降、隆起并引起道面裂缝和破损，尽可能保证周边助航灯光、通信导航和消防等管线的正常使用，必要时应在新旧道面之间和周边设置保护过渡措施；施工过程中应对道面和地下管线进行沉降、位移等监测。

**9.2.4** （1）换填（置换）法（含 EPS）常用于不停航施工条件下跑道中心线两侧 75m 范围内施工，以压缩施工时间；主要换填措施包括山皮石换填、二灰（石灰和粉煤灰）换填以及 EPS 轻质换填。上海虹桥机场新建西跑道与原有东跑道之间的 8 条滑行道、上海浦东机场第三跑道与第一跑道之间和第四跑道与第二跑道之间的各 6 条穿越滑行道均采用了山皮石垫层换填法，温州永强机场新建三号联络道和新建跑道和滑行道之间的 4 条滑行道均采用了宕渣换填法。（2）水泥石搅拌桩法常用于软土地区新旧道面之间的衔接过渡，也用于小范围的软土深层地基处理。如宁波栎社机场飞行区扩建采用水泥石搅拌桩法处理新旧道面衔接带，温州永强机场站坪扩建时在小范围内采用了该方法处理软土地基。不同地基处理工艺的过渡也可采用水泥石搅拌桩法处理，如上海浦东机场，由于第四和第五跑道均采用堆载预压排水固结法处理地基，拖机道采用山皮石冲击碾压法处理浅层地基，因此，第四和第五跑道与拖机道之间的衔接过渡采用了水泥石搅拌桩法处理。（3）预压法主要用于软土地区，针对障碍物限制面要求，堆载预压法一般用于过渡面以外区域，如宁波栎社机场新建站坪及平行滑行道、舟山普陀山机场扩建站坪、上海浦东机场新建第四跑道及第五跑道、温州永强机场新建跑道等。真空预压法一般用于升降带区域，如温州永强机场新建滑行道。另外，真空预压法还可用于严重缺土的场区，如上海浦东机场第三跑道及西货机坪的古河道区域。（4）基础注浆法常用于不停航施工条件下道面基础的加固处理，如厦门高崎机场跑道加固、上海虹桥机场东跑道加铺、上海虹桥机场平行滑行道大修、合肥骆岗机场跑道大修、青岛流亭机场飞行区道面基础加固、黄山机场跑道整修、无锡硕放机场跑道基础加固等，基础注浆可在每天航班运行结束之后施工。

**9.3.1** 高填方工程一般具有地形起伏较大、地质条件复杂、土石方材料多样且工程量巨大等特点，以及由此带来的场地稳定、地基与填筑体沉降和差异沉降、高边坡稳定等问题。机场建设通常分期或分阶段进行，高填方的特点决定了先期建设的工程设计时应考虑后期建设工程的衔接，如地势与场地平整设计（可参考本规范第6章）等，故条文规定应考虑“连续性、渐进性和整体性”。高填方较突出的岩土工程问题是工后沉降和工后差异沉降以及边坡稳定等，处理和填筑后应保证变形均匀、填筑密实、地基稳定。

“三面一体”控制论是我国民航行业岩土工程专家长期技术经验积累的总结和升华，在九寨黄龙机场、昆明长水机场等多个条件极其复杂的高填方机场工程中，起到了理论和实践双重指导的重要作用。“三面一体”控制论的要点是：机场高填方是一个由土方、石方或土石混合体共同构成的不同部位承载着不同功能的系统，这个系统的工程形态主要由“基底面”、“临空面”、“交接面”和“填筑体”四个要素构成“三面一体”，平衡并控制好“三面一体”，即解决了这个系统的主要工程技术问题。

“基底面”为填筑体与原地基的基底结合面，“基底面”的岩土工程特性是机场高填方工程需要重点研究与解决的关键技术问题。

“临空面”为边坡坡面和高填方顶面。边坡设计除优化坡比以使在保证抗滑稳定性情况下最为经济外，还需充分考虑排水和环境等问题。高填方顶面包括道基顶面和飞行区土面区顶面，道基顶面有严格的差异沉降控制要求和强度及刚度要求，飞行区土面区顶面则有一定的沉降控制要求和表面特性要求。

“交接面”为填挖方交接面及其过渡段。由于挖方区无沉降变形甚至挖方卸荷后有一定回弹，而填方区有沉降变形，并且交接面附近的地基处理又往往被忽视，导致填、挖方交接面的沉降差异较大且容易出现突变，对道面结构造成不利影响。“交接面”处理是高填方机场应特别注意的一个问题。

“填筑体”包括飞行区道面影响区填筑体、飞行区土面区填筑体、其他场地分区填筑体和填方边坡稳定影响区填筑体等。填筑体的控制是高填方工程控制的核心。“填筑体”对变形与稳定的影响体现在几个方面：填筑体自身的压缩变形会造成“临空面”的水平位移和沉降；其与原地基共同作用也会影响原地基的沉降变形；在填方边坡稳定影响区，填筑体的强度特性则直接影响高边坡的稳定性。同时，填筑体自身的强度变形特性还受到填料、施工等因素的影响。

**9.3.2** 高填方工程所处环境通常较差，一方面，环境对工程的影响是岩土工程师需要普遍重视的问题；另一方面，工程建设对环境的影响日益显现，高填方机场的建设通常会对环境带来较大改变，甚至带来不良结果，如填方引起地表水径流改变，导致下游村庄遭受雨洪以及滑坡等次生灾害。因此，条文强调在进行高填方工程设计时，要加强环境与工程的相互影响研究。

**9.3.3** 高填方工程设计内容从场地分区来讲，飞行区道面影响区和飞行区土面区的设计指标以满足飞行区使用为目的，其设计指标对工后沉降和工后差异沉降、强度和压实的要求较高；其他场地分区（航站区、工作区和预留发展区）仅满足场地平整设计的要求，即通常所称的“造地”，

场地内建（构）筑物的地基处理尚需进行专门设计（不属高填方工程设计范畴），因此在高填方工程中其设计指标与飞行区不同，对沉降和强度以及压实的要求均较低。

多个高填方工程也进行了道基层处理，道基层处理设计是指针对因高填方而产生的较普遍问题所采取的针对性设计，目的是为道面施工和使用创造良好的道基条件。例如，高填方填筑完成至道面施工前产生的沉降而需要补充填筑，监测表明局部差异沉降较大而加铺土工合成材料，挖方区平整后出现的特殊性岩土或不良地质作用需进行专门处理等情况，均属于道基层处理设计的范畴。

**9.3.4** 高填方机场工程地质和水文地质条件、填料来源及性质等一般较复杂，各个机场情况差异较大，西南、华北地区多个高填方机场进行的试验性施工效果非常显著，给全场设计和施工提供了很好的支持和借鉴，这是从实践中总结的经验，也体现了岩土工程因地制宜的特点。同时，试验段的经验不足以包含所有的情况，勘察资料也有其相对性和局限性，因此，当实际情况有变化时，也应及时校验、调整设计。

**9.3.5** 浦东机场扩建试验段划分为6个小区，南京机场扩建试验段划分为3个小区，昆明新机场就不同试验内容开辟了3个试验段。试验段与全场工程的关系可以归纳为三个方面：一、试验段是全场主要岩土工程问题的浓缩；二、试验段是全场工程的一部分；三、试验段不应全场大面积施工造成不利影响。通过试验段的土石方填筑试验还需总结出各种填料的填挖比等。

**9.3.6** 地基处理设计在本规范第7章和第8章针对各种场地有详细规定，高填方地基按其相应情况处理并考虑高填方的工况以及上部道面荷载对地基的影响。例如，高填方区域软弱土的处理应考虑填方荷载以及地下水位的变动，填方荷载可兼做预压荷载；岩溶处理应考虑填、挖方引起的覆盖层厚度变化，这些变化对岩溶地基的稳定性评价结果有显著影响。

**9.3.7** 山区机场通常就地取材，主要利用场内挖方区开挖的天然土、石材料作为填方区的填料，如何合理、有效、节约地利用好场内填料，同时满足场地分区的设计指标要求，是土石方填筑设计需要重点解决的问题。设计时一般充分利用场内一种或多种填料，通过对不同场地分区提出相应的填料要求和压实要求指标来实现对沉降、强度和稳定性的控制。例如，在填方边坡稳定影响区，采用石料比土料更有利于边坡稳定，在相同的稳定安全系数下可采用更陡的坡度以节约用地。当不同的场地分区采用不同的填料时，天然分布的各种填料如何在较小的运距和较少的倒运次数内运输至要求填筑该填料的场地分区，即为填料调配设计的内容。填料调配设计用于指导填挖施工。填料调配依据填料勘察资料、地势设计图、土石方计算图和场地分区图进行设计，一般情况下以填料调配图或表的形式提供。

高填方机场填挖方工程量通常极大，重庆江北机场四期建设填方量约8000万方，昆明长水机场填方量超过一亿方。对机场这样大面积的土石方工程，地势标高的略微调整也会造成较大的填挖方量变化，借或弃方都会造成经济的浪费和环境破坏。避免或减小借、弃方主要与地势设计有关，但在土石方填筑设计中也应尽量合理使用场内各种填料，使包括地表植物土在内的各种填料在场内消纳，这样的设计无疑具有巨大的经济、社会和环境效益。

**9.3.8** 高填方机场建设经验表明，不重视“交接面”的处理，经常容易造成机场运行期道面损坏。

1 填筑范围较大时通常分为多个工作面施工，各工作面起始填筑标高不一或填筑速度不同，带来工作面搭接问题。实际监测表明，工作面搭接处理不好，将造成人为的薄弱面或软弱面，给高填方沉降及稳定性带来不利影响。

2 高填方工程中，除控制原地基和填筑体的沉降变形量外，同时需注意填筑体与原地基坡面交接处的处理，该处经常是导致高填方机场道面出现问题的薄弱环节，特别是挖方区地基为岩石时。对此类场地，传统的处理方法是将挖方区超挖 300mm~600mm，换填炉渣、中粗砂或碎石作为褥垫层，以消除或减小因上部荷载对交接处地基产生的应力集中，达到调整地基差异沉降的目的，这对一般的建筑地基无疑是成功的方法，但对机场这样大面积、大填大挖的工程场地采用传统方法处理，尚应注意在交接处的搭接坡比应较小以便调节填挖过渡处较短距离内的沉降差。例如，昆明长水机场采用道基设计顶面以下 0m~3m 不大于 1:8，3m~8m 不大于 1:2，8m 以下不大于 1:1 的要求处理，监测结果表明过渡良好。

**9.3.9** 高填方工程边坡高度为坡顶线与坡脚线的高差。高填方边坡设计与一般的填方边坡基本类似，与挖方边坡有很大差异。现行的国标和其他行业规范对边坡设计的规定主要针对挖方边坡，对机场的填方边坡不适用。高填方边坡坡比、填筑以及排水等方面，应在设计中综合考虑，例如，边坡采用性质较好的填料填筑时，采用较陡的坡比即可稳定。条文中的边坡防护和排水设计主要指边坡坡面护坡工程及其附属排水设施的设计，与场道工程排水以及机场场外排水不同而又有联系，二者服务对象不同，排水流量差异极大，而坡面排水设施的出水口则需与场道工程排水或场外排水系统相连接。

**9.3.10** 条文所述排水与场道工程排水不同，主要针对地基和填筑体中地下水或下渗的地表水。地基和填筑体的排水在高填方机场岩土工程设计中具有至关重要的影响，水的影响体现在多个方面，如地基土中的水无法排除可能导致地基土固结缓慢，地基工后沉降较大；填筑体排水不畅容易造成浸润线上升，边坡在渗流作用和填料强度降低影响下失稳。高填方工程的填方区尤其是冲沟区汇水面积一般较大，施工期应采取临时排水措施，避免填筑形成“堰塞湖”，如在工作面以上开挖截水沟。

**9.3.13** 高填方工程监测十分重要，承接设计与施工，是工程建设与运行的重要保障。监测对评价目前的状态、预测以后的趋势以及提出工程措施建议，都将提供重要甚至唯一的依据。关于监测的要求在《民用机场勘测规范》MH/T 5025 中有规定，本规范未赘述，但监测设计属于岩土工程设计的主要内容之一，应充分重视。

**9.4.2** 海相淤泥通常具有较强的流动性，各区域埋藏厚度会随洋流、潮汐等作用而变化，可能造成设计阶段的土石方量与施工阶段的实际方量差异巨大。当设计过程较长时（超过一年以上），应在新的设计阶段对各区域淤泥的顶、底板等高线及等厚线重新测量。

**9.4.3** 填海工程设计通常具有面积大、软弱地基埋藏不均匀，甚至局部存在古深海沟的特点（如拟建厦门新机场）。对机场运行影响最大的因素之一是工后差异沉降，因此设计重点是保障飞行

区工后沉降的一致性，尤其是考虑不同软弱地基厚度之间、不同施工阶段之间等引起差异沉降的因素，可采用如过渡段设计、调整固结时间等方法予以消除或减小。大面积的填海工程投资对施工工法的细微变化非常敏感，我国上海、厦门、深圳等地机场填海工程中所遇见的海相淤泥其颗粒组成成分差异巨大，淤泥含水率也各不相同，虽然在地基处理方法的选择上往往会类同（如排水固结法），但其设计参数却应因地制宜，稍有不慎会导致造价剧增。因此，大面积施工前，选择典型区域开展地基处理试验优化设计参数和工艺工法，是填海工程设计中必不可少的一个环节。为解决设计中重点、难点问题，如软弱地基条件变化极大区域的差异沉降计算、机场飞行区下穿刚性构筑物（如厦门集美大桥隧道下穿高崎机场三期扩建跑道）时与周围柔性地基之间的差异沉降计算以及其过渡段设计，可开展物理力学试验、数值模拟等专项研究，其成果作为填海工程设计的技术支撑。

**9.4.6** 海堤设计应结合工程建设所在地特点，选择适合当地海洋水文特点的海堤及护岸型式。海堤设计主要有关标准包括：《防洪标准》GB50201、《堤防工程设计规范》GB50286、《堤防工程管理设计规范》SL171、《水工混凝土结构设计规范》SL191、《水利水电工程等级划分及洪水标准》SL252、《水闸设计规范》SL265、《堤防工程施工规范》SL260、《海堤工程设计规范》SL435、《海港水文规范》JTJ213、《防波堤设计与施工规范》JTJ298 等。

填海工程应根据填筑区的使用功能、施工期交通组织、龙口设置与合龙风险、龙口与隔堤造价等因素确定是否需要分隔以及合理分隔规模。分隔区应考虑风浪及流场等水动力条件，使之有利于抑制风浪掀沙。隔堤的布置应有利于施工方便。填筑区交通系统的布置应结合堤线、围内隔堤、建筑材料的运输和施工需要等因素。填筑区临时道路宜尽可能与永久道路相结合。

**9.4.7** 机场填海工程面积大，地基处理方法的选择是影响造价和工期的主要因素之一。地基处理方法的选择可结合填筑区地质条件、技术要求、造价及工期综合比选。填海地基以软弱土（主要为淤泥和淤泥质土）为主，填海时间长、土方量大，国内外主要填海机场对原状海相软弱地基的处理方法表明，以排水固结法为主的地基处理方法是成熟、经济、可靠的方法。排水固结法需要足够的固结时间以保证地基处理效果，工期要求较紧的区域可采用其他地基处理方法，如：深圳宝安机场第二跑道采用换填法，深圳宝安机场联络道衔接段与局部机坪采用桩网复合地基法，深圳宝安机场局部采用碎石墩复合地基法等，对工后差异沉降要求较高的过渡段可采用高压旋喷桩复合地基法（如厦门集美大桥隧道下穿高崎机场第三期跑道附近部分区域）和振动沉管砂石桩复合地基法等。

**9.4.8** 填海工程填筑材料的选择应考虑：（1）工程场地周边料源；（2）工程建（构）筑物要求；（3）施工场地的施工组织设计和施工技术设计需要，如：施工道路和场地内分隔堤的布置；（4）填筑材料在施工期的合理调配和充分利用；（5）技术经济比较。

机场填海工程填筑区水下填筑材料宜优先选择中砂、粗砂，水上填筑材料可根据料源情况选择中砂、粗砂或粘性土。砂源首先应满足填海工程对砂的品质要求，包括矿物组成、粒径级配、含水率、天然休止角、相对密度等。砂源选择在满足砂的品质、环保、交通条件下，应尽量就地



取材，缩短运输距离，降低工程造价。砂源地的选择应符合下列原则：（1）贮量相对集中，可开采量应多于工程需用量和施工损耗量之和；（2）在不危及填筑和其他工程，不影响附近建筑物、航道、河势、堤防及海岸稳定的情况下，砂源地尽可能靠近填筑区；（3）砂源地土料的质量和可开采量应满足要求，合格土料的开采深度应在挖泥船正常作业深度内；（4）砂源地及附近应具有良好的施工条件；（5）砂源地应避开水下障碍物、爆炸物、水产养殖区及环境敏感区；（6）砂源地应在有关部门规定的可采范围内，并经有关部门批准。

机场填海工程填筑量巨大，应在施工场区建设合适屯砂区，宜优先采用大型船只把砂从砂源地运至屯砂区，再沿分隔堤采用陆运或管道吹填至填筑区。根据各砂源区砂质分布以及采用的取砂工艺，应在取砂初期进行多种取砂工艺施工，获取不同工艺和不同砂源区的取砂工艺参数、取砂范围和深度，确保取砂质量满足要求。

填海工程中理想的填筑材料是中粗型海砂，具有水稳性好、施工便捷等优势，但近年来随着沿海城市经济迅速发展和工程建设项目日益增多，海砂的供应量也日益减少，很多工程建设都在寻求替代料源。扰动后的淤泥因其工程力学性质极差，处理方式复杂且造价高昂，很难满足机场对沉降和差异沉降的要求，一般不宜用于机场填海工程。在局部地区采用前需开展专项研究，结合工程的质量、工期、造价等因素论证其使用的技术经济合理性。

机场填海工程设计应考虑填筑区永久引水和排水要求，并宜将永久引水和排水与临时引水和排水相结合，统一考虑。永久性排水系统布置应以批准的区域总体规划和排水工程专业规划为主要依据，确保工程安全可靠、经济合理、保护环境、节约土地。围区排水渠道或管道应布置在排水区域内地势较低或便于雨水汇集的地带。为满足永久排水建成前的雨水排放，需设临时排水口。临时排水口的位置应根据填筑区形状、地形、排泥管的布置等因素确定。临时排水口位置应有利于填筑区泥沙沉淀，并便于就近向填筑区外排水。

**9.4.9** 填海工程中围堤堤基及填筑区地基大多为淤泥或淤泥质土，填筑时一般要求分层加载，均衡上升。应根据施工期的变形监测，指导分层加载厚度、间歇周期，确保施工安全。施工期监测设施的设置应考虑与运行期监测相结合，施工时应应对监测设施进行保护，避免施工过程中将其破坏，对于重点监测部位，应考虑设置备用监测设施。

ISBN 978-7-5128-0145-5



9 787512 801455 >

定价：68.00 元