

UDC

MH

中华人民共和国行业标准

P

MH/T 5035—2017

民用机场高填方工程技术规范

Technical Code for High Filling Engineering of Airport

2017-03-09 发布

2017-05-01 施行

中国民用航空局 发布

中华人民共和国行业标准

民用机场高填方工程技术规范

Technical Code for High Filling Engineering of Airport

MH/T 5035—2017

主编单位：中国民航机场建设集团公司

北京中企卓创科技发展有限公司

批准部门：中国民用航空局

施行日期：2017年5月1日

中国民航出版社

2017 北 京

中国民用航空局 公告

2017 年第 3 号

中国民用航空局关于发布 《民用机场高填方工程技术规范》的公告

现发布《民用机场高填方工程技术规范》（MH/T 5035—2017）行业标准，自 2017 年 5 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

2017 年 3 月 9 日

前 言

为适应高填方机场建设需要，规范高填方工程技术标准，编制本规范。编制组深入调研，认真总结和吸收了多年来我国高填方工程建设经验和研究成果，在编写过程中参考了国内外有关技术规范和资料，经广泛征求意见和多次专家审查，并反复讨论和修改后定稿。

本规范的主要技术内容包括 12 章：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 勘察和测量；5. 试验段；6. 原地基处理；7. 填方工程；8. 边坡工程；9. 排水工程；10. 施工过程控制；11. 质量检验；12. 监测分析和动态控制。另有 8 个附录。

本规范第 1 章、第 3 章由李强、张合青编写，第 2 章由马新岩、周载阳编写，第 4 章由谢春庆、周正飞、李天华编写，第 5 章由韩黎明、王广德、张合青编写，第 6 章由王孝存、刘冬明、宋二祥编写，第 7 章由姜昌山、韩黎明、刘冬明编写，第 8 章由周载阳、马新岩、宋二祥、魏迎奇编写，第 9 章由姚荣学、魏迎奇、王孝存、刘冬明编写，第 10 章由孔愚、韩黎明、翁训龙、姚仰平编写，第 11 章由周正飞、王孝存、姜昌山、周载阳、姚荣学编写，第 12 章由韩文喜、马新岩、张合青编写，附录 A 由马新岩、魏迎奇编写，附录 B 由王广德、马新岩编写，附录 C、附录 D 由谢春庆编写，附录 E 由张合青、马新岩编写，附录 F 由张合青编写，附录 G、附录 H 由周正飞、马新岩、周虎鑫编写。

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，请函告中国民航机场建设集团公司科技质量部（地址：北京市朝阳区北四环东路 111 号，邮编：100101，传真：010-64922708，电话：010-64922037，Email：kjzlb@cacc.com.cn），以便修订时参考。

主编单位：中国民航机场建设集团公司

北京中企卓创科技发展有限公司

参编单位：建设综合勘察研究设计院有限公司

中国人民解放军西部战区空军勘察设计院

中国水利水电科学研究院

中国水利水电第十六工程局有限公司

北京航空航天大学

清华大学

成都理工大学

中化岩土工程股份有限公司

主 编：李 强 张合青

参编人员：韩黎明 马新岩 姚荣学 孔 愚 姜昌山 王孝存 刘冬明

王广德 周正飞 周载阳 李天华 谢春庆 魏迎奇 翁训龙

姚仰平 宋二祥 韩文喜 周虎鑫

主 审：沈小克 朱森林

参审人员：顾宝和 谢永利 甘厚义 王列平 李军世 陈上明 温彦锋

袁昌丰 白瑞峰 刘 宏 马志刚 郑 斐

目次

1	总则	1
2	术语和符号	3
2.1	术语	3
2.2	符号	3
3	基本规定	6
4	勘察和测量	11
4.1	一般规定	11
4.2	挖方区专项勘察	11
4.3	水文地质专项勘察	12
4.4	施工勘察	13
4.5	工程测量	14
5	试验段	17
5.1	一般规定	17
5.2	原地基处理试验	18
5.3	土石方填筑试验	19
5.4	专项试验	19
5.5	试验段总结报告	21
6	原地基处理	22
6.1	一般规定	22
6.2	填方区地基	23
6.3	挖方区地基	23
6.4	滑坡防治	24
7	填方工程	27
7.1	一般规定	27
7.2	开挖和爆破	27
7.3	调配	28
7.4	填筑和压实	29

8	边坡工程	31
8.1	一般规定	31
8.2	坡率法	32
8.3	边坡支挡	33
8.4	坡面防护	43
9	排水工程	45
9.1	一般规定	45
9.2	原地基排水	45
9.3	填筑体排水	46
9.4	边坡排水	47
10	施工过程控制	48
10.1	一般规定	48
10.2	施工准备	48
10.3	施工实时监控	49
10.4	低温和雨季施工	50
10.5	绿色施工	51
11	质量检验	53
11.1	一般规定	53
11.2	原地基处理	53
11.3	填方工程	54
11.4	边坡工程	56
11.5	排水工程	56
12	监测和动态控制	58
12.1	一般规定	58
12.2	监测要求	59
12.3	监测数据分析	59
12.4	动态控制	60
附录 A	民用机场高填方工程填料分类	62
附录 B	石料和土石混合料颗粒分析试验方法	64
附录 C	施工期填料储量确定方法	67
附录 D	地下水观测方法	69

D.1 施工期原地基地下水观测	69
D.2 施工期填筑体地下水观测	69
D.3 土石方竣工后地下水观测	70
D.4 观测资料整理	70
附录 E 施工期填挖比试验方法	72
附录 F 试验段总结报告内容要点	74
附录 G 强夯单点夯击试验方法	75
附录 H 固体体积率灌水法试验要点	77
标准用词说明	79
引用标准名录	80

1 总 则

1.0.1 为规范民用机场高填方工程的勘测、设计、施工、检验和监测，本着安全适用、经济合理、确保质量、节约资源、保护环境的原则，制定本规范。

【条文说明】随着我国民航业发展和平原地区土地资源日趋紧张，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（24 m）（括号内为最大填方高度或填方边坡高度）、绵阳机场（28 m）、大理机场（30 m）、万州机场（32 m）、广元机场（38 m）、兴义机场（42 m）、荔波机场（46 m）、昆明长水机场（52 m）、贵阳龙洞堡机场（54 m）、攀枝花机场（65 m）、三明机场（65 m）、吕梁机场（127 m）、九寨黄龙机场（138 m）、承德机场（141 m）、六盘水机场（153 m）、重庆机场（164 m）等机场填方高度或填方边坡高度均大于 20 m。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、地基与填筑体沉降与差异沉降、高边坡稳定等问题。

山区机场的跑道平整区通常跨越复杂的地形地质单元，形成了挖填交替、土石方量巨大、填料类型众多、性质复杂的高填方和高边坡。机场跑道的适航性对山区机场高填方变形和稳定提出了极为严格的要求，一旦出现事故，将造成巨大的社会影响和经济损失。目前国内外相关基础研究严重滞后于工程建设，尚无成熟理论和技术标准来支撑和规范山区机场高填方的设计和施工。

根据《中国民用航空发展第十三个五年规划》，“十三五”期间我国大力发展支线机场，支线机场建设对西部大开发、国防安全、维护边疆地区安全稳定以及抢险救灾等具有重大战略意义。而支线机场位于山区的又占很大比例。总结我国高填方机场设计、科研成果和建设经验，开展《民用机场高填方工程技术规范》的编制十分必要和迫切，规范编制将填补行业空白，对提高高填方机场勘测、设计、施工、监测及质量检验水平，保证高填方机场工程质量具有重要意义，必将提升我国民用机场行业技术水平，促进“民航强国”战略的实现。

制定本规范的目的，是适应民用机场建设发展的需要，统一民用机场高填方工程的勘测、设计、施工、检验和监测技术标准。进行民用机场高填方工程设计与施工时，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。

编制本规范，既要解决民用机场高填方工程没有行业规范可依据的现状，又要解决现有标准不能满足民用机场高填方工程建设专业性和系统性要求的问题。因此，本规范努力协调和处理好与机场工程勘测和设计相关的主要行业标准《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）和《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）的关系。《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）对分阶段

勘测的内容和深度做了规定，对挖方区土石材料性质和土石比作为专项勘察提出了原则性规定，并对高填方工程监测作出了较详细的规定；《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）对场地进行了分区并提出相应设计指标和标准，对高填方工程作为专项工程设计提出了原则性规定。编制本规范，在遵循既有规范原则性规定的基础上，重点提出了填料分类与场地分区和工法相结合的思路，并对高填方工程的勘测、设计、施工、检验和监测作出专业性和系统性的规定。

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）最大填方高度和填方边坡高度不大于 160 m 的高填方工程的勘测、设计、施工、检验和监测。对于最大填方高度或填方边坡高度大于 160 m 的高填方工程，应进行专项研究。

【条文说明】我国民用机场高填方工程建设经过几十年的发展，取得了丰硕的成果并积累了大量的工程建设经验。但到目前为止，遇到的机场填方高度基本不大于 160 m。对于填方高度大于 160 m 的高填方工程，目前缺乏建设经验，为慎重起见，本标准规定遇到此类工程，需要针对具体情况进行研究。

1.0.3 高填方工程应满足地质灾害防治、水土保持、环境保护等要求。

【条文说明】民用机场高填方工程土石方量大，边坡较高，易产生地质灾害、水土流失等问题，故条文强调高填方工程应重视环境保护，防止地质灾害和水土流失的发生，落实地质灾害危险性评估报告、水土保持方案以及环境影响评价报告的要求。

1.0.4 高填方工程的勘测、设计、施工、检验和监测，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 高填方工程 high filling engineering

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

2.1.2 高填方试验段 high filling engineering test project

针对高填方机场主要岩土工程问题，验证和完善设计方案，确定施工工艺、检测方法和检测标准等的现场试验工程，本规范简称试验段。

2.1.3 原地基 original foundation

承受建（构）筑物或填筑体荷载的原有岩土体。

2.1.4 固体体积率 solid volume ratio

土石固相体积与土石总体积的比值，以百分率表示。

2.1.5 堆填法 layered filling

将填料自下而上分层填筑、填料粗细颗粒不分离的填筑方式。

2.1.6 施工实时监控 real-time monitoring of construction

通过数据采集、传输、存储、处理及信息反馈，对施工过程及质量进行实时动态监测与控制。

2.1.7 低温施工 construction under low temperature

连续 15 天日平均气温在 0℃ 以下进行的土石方施工。

2.2 符号

2.2.1 岩土物理性质和颗粒组成

C_u ——不均匀系数；

- C_c —— 曲率系数；
 G_{s1} —— 粒径大于、等于 5 mm 土颗粒的土粒比重；
 G_{s2} —— 粒径小于 5 mm 土颗粒的土粒比重；
 G_{sm} —— 平均土粒比重；
 I_p —— 塑性指数；
 m_0 —— 试样总质量；
 m_A —— 小于某粒径的试样质量；
 m_B —— 细筛分析时为所取的试样质量，粗筛分析时为试样总质量；
 m_d —— 试样干质量；
 P_1 —— 粒径大于、等于 5 mm 土颗粒质量占试样总质量的百分比；
 P_2 —— 粒径小于 5 mm 土颗粒质量占试样总质量的百分比；
 R_{sv} —— 石料和土石混合料的固体体积率；
 X —— 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比；
 ρ_0 —— 石料和土石混合料的湿密度；
 ρ_d —— 石料和土石混合料的干密度；
 ρ_w —— 试验温度时纯水的密度。

2.2.2 作用和作用效应

- E_a —— 每延米主动岩土压力合力；
 e —— 基底合力的偏心距；
 G —— 挡墙每延米自重；
 M_y —— 稳定力系对墙趾的总力矩；
 M_0 —— 倾覆力系对墙趾的总力矩；
 N —— 作用于基底上的垂直力。

2.2.3 材料性能和抗力

- p_b —— 拉筋与填料之间的黏结力；
 R_f —— 试验测得的筋材材料抗拉强度值；
 R_k —— 筋材材料抗拉强度标准值；
 δ —— 墙背与岩土的摩擦角；
 δ_0 —— 拉筋与填料之间的摩擦角。

2.2.4 几何参数

- A_e —— 筋材有效截面积；
 b —— 挡墙底面水平投影宽度；
 b_0 —— 基底宽度，倾斜基底为其斜宽；

- b_p —— 矩形桩桩宽；
 B_p —— 桩身计算宽度；
 d_p —— 桩径；
 x_0 —— 挡墙中心到墙趾的水平距离；
 z —— 岩土压力作用点到墙踵的垂直距离；
 α —— 墙背与铅垂线的夹角；
 α_0 —— 挡墙底面倾角。

2.2.5 设计参数和计算参数

- F —— 考虑施工损伤、材料蠕变以及生物化学作用使筋材强度降低的因数；
 F_{sp} —— 加筋土挡墙筋材抗拔出安全系数；
 F_{sa} —— 加筋土挡墙筋材强度安全系数；
 F_s —— 重力式挡墙抗滑移稳定安全系数；
 F_t —— 重力式挡墙抗倾覆稳定安全系数；
 K_0 —— 静止土压力系数；
 K_a —— 主动土压力系数；
 L_0 —— 计算拉筋层的水平回折包裹长度；
 μ —— 挡墙底与地基岩土体的摩擦系数。

3 基本规定

3.0.1 高填方工程地基应稳定, 填筑体应均匀、密实和稳定, 应控制基底面、临空面、交接面和填筑体 4 个要素。

【条文说明】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、高边坡稳定等方面的问题。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”4 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, 道基顶面有严格的沉降控制要求和强度及刚度要求; 另外, 干旱半干旱寒冷地区, 道基土体中水分以气态水形式被温度/浓度差驱动至道面下冷凝或凝华, 造成浅层水分富集的“锅盖效应”, 引起道基含水率增加, 易导致道基冻胀、不均匀沉降、道面变形开裂等病害。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。“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、重庆江北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。

3.0.2 高填方工程应依据场地分区和填料分类, 以挖填平衡和节约土地为原则, 做到因地制宜、就地取材。

【条文说明】由于民用机场工程建设的范围大、场地分区多，尤其是山区机场通常跨越多个地形地质单元，土石方量大且填料种类多、性质复杂，同一场地岩土的物理力学指标离散性一般较大，加上岩溶、滑坡等诸多不良地质作用，场地平整有挖有填，同时由于考虑放坡因素，需要较平原地区机场占用更多的土地。故条文强调应综合考虑场地分区，采取挖填平衡、节约土地的原则；倡导设计者根据工程的实际情况，做到因地制宜、就地取材。

3.0.3 根据机场建设项目的特点和总平面规划图，可按表 3.0.3 进行场地分区。

表 3.0.3 场地分区

场地分区	范围
飞行区道面影响区	道肩两侧各外延 1 m~3 m 的范围，填方区在外延线处以 1:0.6~1:0.4 向道肩外侧斜投影至原地面的范围
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	航站区用地的投影范围
工作区	工作区用地的投影范围
预留发展区	预留发展区用地的投影范围
填方边坡稳定影响区	根据填方高度和原地基的实际条件，通过具体分析确定

注：飞行区道面影响区斜投影坡比，填料为石料、土石混合料和砂土料时可取 1:0.6，填料为粉土料和黏性土料时可取 1:0.4。

【条文说明】条文中的场地分区与《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027—2013）表 3.0.5 一致，为便于使用，本条将场地分区列出。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用地的投影范围，工作区包括机场办公区、综合保障区、机场货运区、生活服务区等用地的投影范围，预留发展区包括场地平整范围内预留的规划发展区域用地的投影范围。

3.0.4 高填方工程填料可划分为石料、土石混合料、土料和特殊土料，其分类定名应按本规范附录 A 确定；石料和土石混合料的颗粒分析试验应按本规范附录 B 操作。

3.0.5 高填方工程设计指标应符合《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）对不同场地分区指标的规定。

【条文说明】《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027—2013）第 4 章对有关设计指标提出了具体规定，同样适用于民用机场高填方工程。

3.0.6 高填方工程的勘察和测量除应符合《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）的规定外，尚应符合下列要求：

1 对场地设计标高以上的挖方区进行挖方区填料勘察，开挖至设计标高后进行挖方区地基勘察；

2 水文地质条件复杂时,进行水文地质专项勘察;

3 工程地质条件复杂的场地,或由于设计方案调整等因素导致原有勘察资料不能满足要求时,进行施工勘察;

4 针对高填方工程地形起伏大、施工期间地形变化频繁和土石方工程量计量困难的特点进行工程测量。

【条文说明】民用机场高填方工程勘测阶段的划分与《民用机场勘测规范》(MH/T 5025—2011)的要求一致,并与机场工程各建设阶段要求相适应。在山区建设高填方机场,水文地质条件相对复杂,可能存在岩溶、滑坡等不良地质作用,进行高填方工程勘察时,应重点做好相应的勘察工作;对于挖方区,场地设计标高以上应重点做好土石材料性质、储量和填挖比勘察,场地设计标高以下应重点做好特殊性岩土和不良地质作用的勘察。

高填方工程是大面积改造水文地质条件的过程,近年来出现的高填方工程问题,几乎都与地下水有关,所以在施工过程中对水文地质进行调查与评价等专项工作具有重要意义。

3.0.7 高填方工程设计前应取得场地分区和地势设计资料、测量资料、岩土工程勘察成果,并搜集类似工程的资料和施工经验。

3.0.8 高填方工程设计应进行地基沉降变形计算和稳定性分析,并应符合《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)关于设计计算的规定。

【条文说明】由于高填方工程地基沉降变形,尤其是差异沉降会影响飞机安全平稳起降和滑行,过大的差异沉降还易造成道面结构的开裂和破坏,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高填方工程设计的主要原则。

3.0.9 高填方工程设计应采用动态设计法。

【条文说明】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,适用于高填方工程施工阶段,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。对于高填方机场,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。

3.0.10 在机场高填方工程大面积施工前,应结合工程的实际情况开展试验段工作。

【条文说明】高填方机场主要位于地形条件、工程地质条件和水文地质条件复杂的山区,通常跨

越复杂的地形地质单元，形成挖填交替、土石方量巨大、填料类型众多的高填方和高边坡。因此，有必要有针对性地开展现场试验研究。

高填方试验段工程以研究地基、填料及填筑体特性、验证并完善高填方工程设计和探索施工工艺为主要目的，通过现场试验选择适宜的原地基与填筑体处理方法、施工工艺，制定施工质量控制和检验标准，以有效地控制工程质量和节约工程投资。

3.0.11 原地基处理设计和施工应符合下列要求：

- 1 原地基影响高填方地基变形和稳定时，应进行处理；
- 2 原地基处理设计应包括填方区地基和挖方区地基的处理设计；
- 3 原地基存在特殊性岩土和不良地质作用时，应综合分析其工程地质与水文地质条件，并结合当地经验进行处理。

【条文说明】高填方工程场地一般地形起伏较大，填方、挖方区段交错出现。不仅需做好填方区影响高填方地基变形和稳定的地基处理，还应做好挖方区的地基处理，尤其应做好填挖交接面的处理。当挖至设计标高，地基存在特殊性岩土和岩溶等不良地质作用时应进行处理。

3.0.12 土石方填筑设计和施工应符合下列要求：

- 1 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，应包括爆破、开挖、调配和填筑设计；
- 2 土石方填筑应分层填筑、分层压（夯）实、分层质量检验；
- 3 应在土石方填筑施工期间进行填筑体的变形监测。

3.0.13 边坡设计和施工应符合下列要求：

- 1 边坡稳定性计算应符合《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）的有关规定；
- 2 边坡设计应包括边坡填筑、边坡型式以及边坡防护；
- 3 边坡填筑宜与边坡内土石方填筑同步施工；
- 4 边坡形式和坡比应根据填料的物理力学性质、工程地质条件、工况条件等通过稳定性计算，并结合工程经验分析确定；
- 5 挖方边坡的设计与施工应符合《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）和《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的有关规定。

3.0.14 高填方工程排水设计和施工应符合下列要求：

- 1 排水系统应包括原地基排水、填筑体排水、边坡排水和临时排水等；
- 2 原地基排水应遵循疏导和排放相结合的原则；
- 3 填筑体内宜根据填料情况设置水平排水层，填料透水性较好时可不设填筑体排水系统；
- 4 边坡排水应结合地形、原有水系和机场排水系统设置；
- 5 临时排水应满足施工期排水要求，并宜结合机场的永久性排水设施设置。

3.0.15 高填方工程施工过程控制应符合下列要求：

- 1 应对原地基处理和土石方的爆破、开挖、调配、填筑等施工过程进行控制；
- 2 应在施工过程中采用施工实时监控技术。

3.0.16 高填方工程质量检验和监测应符合下列要求：

- 1 应包括原地基处理质量检验和土石方填筑质量检验，并应符合相关规定；
- 2 施工期和运行期应进行监测，监测项目及要求应符合《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）的规定，并应根据监测资料的反馈优化设计、指导施工和进行运行安全评估。

3.0.17 高填方工程土石方填筑完成后，宜经过 1~2 个雨季的自重沉降期，方可进行上部构（建）筑物施工。

【条文说明】条文对高填方工程从土石方填筑完成到其上建设道面等构（建）筑物施工之间的最少放置时间作出规定，是参照九寨黄龙机场、昆明长水机场、吕梁机场等多个高填方机场的工程经验提出的。

3.0.18 道面等构（建）筑物的施工起始时间应根据高填方工程沉降监测数据，结合其沉降控制要求确定。

【条文说明】根据沉降监测资料可以分析判断高填方地基变形的发展趋势，推算工后沉降和工后差异沉降，从而确定道面等构（建）筑物的建造时间。

3.0.19 高填方工程应考虑环境与工程的相互影响，并应满足下列要求：

- 1 在设计和施工时应采取合理方案，减小对环境的不良影响；
- 2 应研究水文地质条件变化对工程的影响；
- 3 应开展水土保持和环境影响监测。

3.0.20 下列高填方工程的设计和施工应进行专项研究：

- 1 场地水文地质条件复杂的高填方工程；
- 2 场地存在大型及巨型滑坡、由于顺坡填筑等原因可能引起滑坡、场地内潜在滑坡的高填方工程；
- 3 支挡结构设置超出规范适用范围的高填方工程；
- 4 采用新技术、新材料和新工艺的高填方工程；
- 5 施工过程中遇到重大技术和质量问题的高填方工程。

【条文说明】条文所指的“新技术、新材料和新工艺”是指尚未被规范和有关文件认可的新技术、新材料和新工艺。四川九寨黄龙机场、昆明长水机场、山西吕梁机场等高填方机场采用专项研究的方式在解决高填方工程重大技术难题和保证工程质量方面取得了良好效果。

4 勘察和测量

4.1 一般规定

4.1.1 挖方区专项勘察应进行挖方区填料勘察和挖方区地基勘察。挖方区填料勘察应查明土石材料性质、储量和填挖比；挖方区地基勘察应查明开挖至设计标高后的岩土性质和不良地质作用。

【条文说明】多个工程经验表明，初勘、详勘阶段的常规勘察工作有时无法满足设计和施工要求，有必要增加挖方区专项勘察。机场高填方工程的填料储量准确与否，以及挖方区设计高程下的地质情况，对机场建设的工期、投资、环境有重要影响。开挖前，若要完全查明设计高程下地质情况，不仅困难大，而且会造成较大的勘察工作量浪费。工程经验证明，挖方后进行专项的岩土工程勘察，不仅勘察精度高，还节约大量勘察经费和时间。

4.1.2 高填方工程水文地质专项勘察应贯穿勘察和施工过程。

【条文说明】高填方工程施工改变了地下水的补给、径流和排泄条件，施工过程就是大面积改造水文地质条件的过程。地下水对原地基、填筑体具有浸泡、软化、潜蚀等不良作用，这些作用往往引起填筑体过大工后沉降和边坡变形。我国西南地区近十余年进行了大量高填方机场建设，个别工程出现失稳、过大垂向及水平变形，其中非常重要的原因是前期勘察未查明场地水文地质条件，或是施工改变了场地水文地质条件，而未及时进行场地条件改变后相应的水文地质条件评价，设计、施工也未采取相应的治理措施。水文地质专项勘察应注意调查原地基和填筑体的岩土物理力学性质，分析地下水对工程的影响。

4.2 挖方区专项勘察

4.2.1 挖方区填料勘察应符合下列规定：

- 1 勘探点的间距应不大于 50 m；
- 2 钻孔数量占勘探点总数的比例应不小于 30%；
- 3 应进行填料的工程特性研究和分类，并对各类填料的填筑位置提出建议；

4 针对填筑边坡部位有可能采用的填料,应通过室内相似条件下的密度、抗剪强度参数以及现场大体积灌水法密度试验、现场直接剪切试验等确定稳定性分析所需要的参数;

5 填料储量宜采用全站仪、三维激光扫描、GPS 测量等采集的数据进行计算,也可按附录 C 的方法计算;

6 除按自然地形、整个场区分别计算各类填料储量和填挖比,还宜分区或按标段计算;

7 应根据试验段和全场的施工情况,修正填料分类和填挖比。

【条文说明】多个工程经验表明仅靠物探、探井、地质测绘等工作很难查明基岩面的起伏形态,判明首先接触到的岩石是孤石还是基岩面,以及岩石的风化状态,故须进行必要的钻探。目前,已有数个机场建设中由于挖方区缺乏必要的钻探或钻探数量不足,造成了误判,使勘察时填料类别和比例与开挖后的实际差异很大。工程经验表明,钻孔数量占勘探点总数的 30% 时基本能保证填料勘察的真实性。

室内剪切试验方法根据《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027—2013) 确定;当填料为石料或土石混合料时,采用室内大型三轴试验或现场直接剪切试验获取抗剪强度参数。

对某个特定场地,对填料类别和比例的认识是逐步深入的。鉴于地层的复杂性和勘察手段局限性、勘察时间、成本等因素,在勘察阶段很难准确将其填料类别划分清楚,应在试验阶段校核和调整。又由于试验段不能全部开挖挖方区,也就不能全部校核全场区勘察阶段所提的类别和填挖比,所以施工阶段对开挖山头的填料类别和比例还需要修正。

4.2.2 挖方区地基勘察应符合下列要求:

1 应根据不同使用要求和开挖后的场地条件,选择钻探、探井、物探等多种勘察方法;

2 以查明洞穴为主要目的时,宜采取地质雷达、地震勘探、电法等物探手段,并对物探解释异常点进行钻探验证;

3 挖方区开挖后,应查明设计高程下是否存在软弱土、湿陷性土、膨胀土、溶洞、土洞等,评价其对工程的影响,并提出处理意见和建议。

4.3 水文地质专项勘察

4.3.1 在高填方原地基处理阶段,水文地质专项勘察应符合下列要求:

1 对场区原有泉点、施工中揭露的泉点、填方关键地段中地下水、场区所在水文地质单元内主要泉点、民井、生产井以及盲沟出水点进行观测;

2 调查主要内容为水位、水量、浑浊度;

3 评价内容包括原地基处理对水文地质条件改变可能造成的次生地质灾害、对周边地下水环境和填筑体底部的影响。

4.3.2 填筑施工阶段，水文地质专项勘察应符合下列要求：

- 1 对场区所在水文地质单元内主要泉点、民井、生产井以及盲沟出水点进行观测；
- 2 对填筑体内部地下水位、边坡出水点高程、出水量进行观测；
- 3 对挖方区段的面积、揭露泉点、地层渗透性、降水或施工管道渗漏等进行调查和观测；
- 4 评价内容应包括挖方和填筑施工对水文地质条件的改变，以及水文地质条件改变对填方工程变形、地下水环境和周边地质环境的影响。

【条文说明】挖方和填筑施工导致水文地质条件改变，进而引起填方工程变形和稳定性问题，例如，浸泡软化、渗透变形、动水压力、冻融、周边环境的次生灾害、地下水环境等问题。其中浸泡软化问题最为常见，主要表现在施工过程中填料的浸泡软化、填料含水率增加、填料强度降低等。周边环境的次生地质灾害主要有滑坡、岩溶与土洞塌陷、地面沉降等。地下水环境问题包括井泉枯竭、水质变差等，对周边人们的生产、生活有较大影响，所以在水文地质调查的基础上，应对周边环境的井、泉等流量、水质进行评价，着重对人们的生产生活影响进行评价。水文地质评价应结合地质勘察资料、地基检测资料和施工资料等进行。

4.3.3 填筑完成后，水文地质专项勘察应符合下列要求：

- 1 对填筑体施工阶段的观测点继续进行观测，对填筑完成后新出现的填筑体渗水点、建（构）筑物管道渗漏点进行观测；
- 2 评价内容应包括地下水变化对填筑体变形、构（建）筑物稳定和周边环境的长期影响等。

4.3.4 地下水观测应符合本规范附录 D 的规定。

4.4 施工勘察

4.4.1 当高填方工程出现下列情况之一时，应在施工过程中进行施工勘察：

- 1 场地条件复杂，施工过程中才能查明其地质条件；
- 2 设计方案发生较大变化，且原有的勘察资料已不能满足现有设计要求；
- 3 受工程施工影响，地质条件及参数发生较大变化；
- 4 在工程施工过程中，有必要对某些指标和参数进一步优化和验证。

4.4.2 高填方工程施工勘察应充分利用开挖面、平整场地、施工机械等现场条件，采用地质测绘、物探、探井、钻探等综合勘察方法。

4.4.3 施工勘察报告应包括工程地质条件、水文地质条件和岩土物理力学参数，并对设计和施工提出建议。

4.5 工程测量

4.5.1 高填方机场控制测量应符合下列规定：

1 首级控制网点应布设在地质构造稳定、安全僻静、交通便利，利于测量标志长期保存和观测的地方，并满足机场近期建设要求和兼顾远期建设需要；

2 首级平面控制网宜采用 GNSS 方式建立，首级 GNSS 网等级应不低于四等，并应与国家高一级或同级平面控制点（网）相联测，联测点应不少于 3 个；

3 首级高程控制网宜按国家二等水准网精度施测，施测困难时可按国家三等水准网精度施测，高程控制点点位可使用 GNSS 点位或单独埋设；

4 施工影响区域外的平面控制首级网点应不少于 6 个，高程控制首级网点应不少于 3 个；

5 建设期间应定期复测首级网，间隔时间应不大于半年。道面施工前和工程竣工后应分别进行复测；

6 应建立机场坐标系，投影面为机场设计高程面，投影长度变形应小于 25 mm/km。当填方高度大于 160 m 时，应在原地面平均高程面建立辅助机场坐标系。

【条文说明】考虑到高填方机场建设将大规模改变原有地形和地质条件，且影响区域较广，故机场首级控制网的布设范围应大于施工影响区域。施工影响区域外的首级网点不少于 6 个是为了便于后期加密联测。首级控制网点布设需要考虑地质构造稳定的问题，点位选址可以由测量工程师和地质工程师配合完成。首级高程控制网施测困难的原因有高填方机场地表高差大、地形复杂、水准线路布设困难等。当填方高度过大、建立机场坐标系时，填筑体底部区域投影长度变形有可能超过《民用机场勘测规范》(MH/T 5025—2011) 规定的 25 mm/km，理由如下：

投影变形主要由两个因素引起：

(1) 实量边长归算到参考椭球面上的变形影响，变形绝对值与高程成正比；

(2) 参考椭球面上的边长归算到高斯投影面上的变形影响，变形值与距离中央子午线距离的平方成正比。

当选择机场基准点所在子午线为中央子午线时，上述因素 (2) 的影响基本可以忽略，只需考虑因素 (1) 的影响。由此，可将问题简化为：机场坐标所在椭球面上的边长投影到填方底部所在椭球面上的边长变形值是否超过 25 mm/km。

由

$$\Delta S = \frac{S \cdot \Delta h}{R} \leq \Delta S_{\max} \quad (\text{说明 4.5.1-1})$$

取 $S = 1\,000\text{ m}$ ， $\Delta S_{\max} = 0.025\text{ m}$ ，得到

$$\Delta h \leq \frac{R}{1 + \frac{S}{\Delta S_{\max}}} = \frac{6\,370\,000}{1 + \frac{1\,000}{0.025}} = 159.25(\text{m}) \quad (\text{说明 } 4.5.1 - 2)$$

式中： S ——机场坐标投影面上的边长；

Δh ——最大填方高度；

R ——归算边方向参考椭球法截弧的曲率半径，其概值为 6 370 km；

ΔS ——机场坐标投影面上的边长投影到填方底部高程面即 $(H_m - \Delta h)$ 高程面上的变形值， H_m 为机场设计标高，即机场坐标投影面高程；

ΔS_{\max} —— ΔS 的限差。

可见，当填方高度大于 159.25 m 时，投影变形超出限差，需要建立辅助机场坐标系以解决底部区域的施工放样问题。

4.5.2 勘察阶段地形测量应符合下列规定：

- 1 地形复杂区域地形图比例尺宜采用 1 : 500；
- 2 可采用地表三维数据生成数字高程模型（DEM）和地形图，地表三维数据宜采用三维激光扫描技术获取。

4.5.3 施工阶段的测量应符合下列规定：

- 1 应采用服务于整个场区的卫星定位连续运行参考站（CORS）进行测量；
- 2 土石方工程量控制可根据施工进度动态采集高程数据或地表三维坐标数据，采集精度应不低于 1 : 500 地形图相关技术要求；
- 3 施工期间对于埋设在填方区域的控制桩应定期复测，平面位置每 30 天复测一次，高程每 10 天复测一次。

【条文说明】卫星定位连续运行参考站（CORS）服务整个场区，使用该设施可提高施工测量的效率。施工过程管理测量主要是实时测量土石方工程量，为工程管理和进度控制提供依据，可采用详细勘测阶段建立的控制网。

4.5.4 竣工图测量应符合下列规定：

- 1 高填方工程竣工图测量内容应包括原地基处理、边坡工程、排水工程和其他隐蔽工程竣工图；
- 2 竣工图测绘的控制测量应采用机场永久性测量控制网；
- 3 竣工图应采用编绘与实测相结合的方式完成，编绘工作应符合《工程测量规范》（GB 50026）的规定；
- 4 竣工图测量应分阶段进行，管线、管廊等隐蔽工程应在隐蔽前测量，其他需实测内容可在竣工后测量；
- 5 隐蔽工程等专业竣工图比例尺应不小于 1 : 500，其他竣工图比例尺宜采用 1 : 1000；
- 6 竣工图应采用数字化测图，并提交电子图件和纸质图件。

【条文说明】机场建设工程竣工后，应绘制竣工图，作为机场使用手册的附图，同时也可为机场后期管理、改扩建提供准确资料。目前，机场高填方工程竣工图一般由施工单位按《工程测量规范》（GB 50026）测量，该规范缺乏机场方面专业条文。加之我国施工单位的测量技术人员偏重于施工放样，现场完成的竣工图多采用设计图纸编绘，大多仅停留在完善资料的层面，所测绘的竣工图往往不准确、内容不全或不采用统一坐标系统，给机场后期的维护或改扩建留下隐患。例如，某机场的竣工图有四套坐标系统，相关建筑物在不同图上位置差异很大，致使改扩建工程无法进行，不得不对地面工程进行全面的统一测绘，但地下工程一直无法完全查清，导致在改扩建勘察阶段将通讯线路和输油管线钻断，造成了重大经济损失和恶劣的社会影响。条文规定了竣工图测量所采用的控制系统、测绘内容、方法和要求。机场规模较大时，可分别测绘飞行区竣工图和航站区竣工图等。

5 试验段

5.1 一般规定

5.1.1 试验段应进行原地基处理和土石方填筑等现场试验或试验性施工。

5.1.2 试验段应针对高填方工程设计、施工和质量检验中的关键技术问题开展试验研究，内容宜包括原地基处理试验、土石方填筑试验和专项试验等。

5.1.3 在试验段实施前，应进行试验设计。

5.1.4 试验段设计应符合下列要求：

- 1 选择有代表性的地段；
- 2 选择有代表性的填料；
- 3 选择适宜的施工工艺；
- 4 采用可靠、便捷的检测和监测方法。

【条文说明】机场高填方工程涉及的岩土工程问题因地形地貌、工程地质条件等不同而有很大的差异，试验段需要有针对性地进行设计，主要体现在以下几个方面：

(1) 试验段地段的确定。在机场高填方工程中，原地基条件、填方高度、边坡类型等均可能成为影响试验段选择的要素，而每个要素中则会存在多种影响。如原地基可能存在各种基岩强风化层、残坡积层和冲洪积层等，在地表水以及地下水长期作用下形成软弱土层，使机场高填方原地基成为典型的多元结构，对高填方的稳定与沉降变形将产生重要影响，故需要针对主要问题合理选择试验区域。

(2) 填料的选择。基于挖填平衡的原则，高填方机场的填料应来自场内的挖方。除特殊情况（如湿陷性黄土地区填料的单一性）外，填料的性质可能多样，如昆明长水机场的填料包含了三类土料（红粘土、粘性土、碎屑岩风化土）和两类石料（碎屑岩、碳酸盐岩），填料性质的差异涉及合理的使用以及压实工法的选择。在进行试验设计时，需要根据机场各功能区的要求，选择场内的主要填料。

(3) 施工工艺选择。在机场高填方工程中，原地基土性质与填料类别是确定施工工艺的决定性因素。各种施工工艺的场地适宜性以及与原地基土、填料类别的匹配，需要有经验的设计者在技术经济分析的基础上，通过现场试验合理地进行选择。

(4) 检测与监测方法选择。在机场高填方工程中,检测是促进施工质量水平提高的重要手段,监测是评价地基、填筑体沉降与稳定性的重要环节。随着技术的发展,针对不同的地基处理方法、填料类别和填筑压实工艺,检测与监测方法可能有多种选择。各种检测与监测技术的可靠性与适宜性具有各自的优缺点,需要合理的比较和选择。

5.2 原地基处理试验

5.2.1 存在复杂地基问题的高填方工程应通过原地基处理试验确定技术经济合理的地基处理方法、工艺和参数。

【条文说明】机场高填方工程遇到的复杂地基问题主要有两类:一类是软弱土问题,这类问题主要分布在填方区地基中,由于软弱土性质、分布位置、分布规模等不同,其对上部道面结构以及边坡稳定的影响程度也不同;另外一类是空洞问题,这类问题既包括岩溶地区的溶洞、土洞问题,也包括矿区采空区问题,还包括架空结构问题、潜蚀洞穴问题等,这类问题的特点是,由于空洞的存在,会影响填筑体以及边坡的稳定。

5.2.2 原地基处理试验设计内容宜包括:试验目的、试验方法、技术指标、施工技术要求、检测要求、监测要求等。

5.2.3 原地基处理试验应符合下列要求:

- 1 宜采用多种原地基处理方法进行试验,试验时应优先选用易于施工、技术经济合理的方法;
- 2 原地基处理前后,宜采用多种检测方法测试地基强度及变形等技术指标;
- 3 应结合场区排水系统方案,设置试验段排水系统。

【条文说明】试验段所采用检测手段和方法比一般工程要多,其目的是通过对多种检测方法得到的检测结果进行综合分析,提出适用性好、操作简单的检测方法。

试验段施工时,尚未进行整个场区的地基处理施工,应提前考虑试验段排水与整个场区排水的关系,以免造成后续施工中或整个场区地基处理工程竣工后地下水在试验段附近壅塞。

5.2.4 试验施工前,施工单位应根据现场实际条件及试验方案设计等做出详细的原地基处理试验施工组织设计。

【条文说明】试验施工与一般工程施工的区别在于,试验施工对施工方法、工艺、参数进行调整的可能性更大,施工组织设计中应对此做出详细预案。同时,施工单位应根据现场实际条件,对试验方案设计中的地下排水系统等进行优化和完善。

5.2.5 原地基处理试验应取得下列成果:

- 1 验证、优化原地基处理设计方案；
- 2 为全场大面积原地基处理施工提供适用性好的地基处理方法、工艺及参数；
- 3 为全场大面积原地基处理施工质量控制提供适宜的检测方法与控制指标。

5.3 土石方填筑试验

5.3.1 应通过土石方填筑试验确定技术经济合理的填筑方法、工艺和参数。

5.3.2 试验前应进行土石方填筑试验设计，试验设计内容宜包括试验目的、填料分类与选择、填筑压实方法、技术指标、施工技术要求、检测要求、监测要求等，并应符合下列要求：

- 1 宜根据填料类别选用强夯、冲击碾压、振动碾压等适宜工法进行土石方填筑试验；
- 2 宜采用多种检测方法测试不同压实方法的填筑压实效果；
- 3 土石方填筑试验宜在原地基处理后的地基上进行。

5.3.3 试验施工前，施工单位应根据现场实际条件及试验方案设计等编制土石方填筑试验施工组织设计。

5.3.4 土石方填筑试验应取得下列成果：

- 1 验证、优化土石方填筑设计方案；
- 2 为全场大面积土石方填筑工程施工提供适用性好、技术可靠、经济合理的填筑压实方法、工艺和参数；
- 3 为全场大面积土石方填筑工程施工质量控制提供适宜的检测方法与控制指标；
- 4 验证和修正勘察报告给出的填挖比等参数，施工期填挖比试验方法应符合本规范附录 E 的规定。

5.4 专项试验

5.4.1 对高填方工程中采用的抗滑结构，宜针对现场实际情况进行现场试验，并应符合下列要求：

- 1 试验规模和加载方式应综合考虑现场施工条件、加载系统、反力系统以及传感器设置等因素；
- 2 试验研究的内容宜包括：桩身应变及弯矩分布规律、土体压应力分布规律、桩—土共同作用机制、锚索应力分布规律，以及桩—土—锚索受力相互关系等。

【条文说明】 抗滑结构主要有抗滑桩（普通抗滑桩、锚杆抗滑桩、预应力锚索抗滑桩）、抗滑锚

索、抗滑挡墙以及组合抗滑结构等,在滑坡处理中效果显著。在机场高填方工程中,除抗滑挡墙普遍采用外,其他结构的应用案例有限。抗滑结构和岩土体的相互作用复杂,抗滑结构的可靠性、经济性受多种因素影响,且随着技术发展,抗滑结构的型式呈现多样化,设计理论和计算方法均有待进一步完善。因此,有必要对机场高填方工程中采用的抗滑结构进行专项试验研究。

5.4.2 对高填方工程中采用的加筋土挡墙,宜针对填料性质和所采用的土工合成材料类型进行现场试验,并应符合下列要求:

1 试验方案应综合考虑填料性质、填筑高度,土工合成材料类型、耐久性和水土腐蚀性的影响等因素制定;

2 试验研究的内容宜包括:筋—土界面参数,筋材施工损伤折减系数,加筋材料在填筑体荷载作用下的沉降、分层沉降、孔隙水压力、侧向位移、土压力变化规律等。

【条文说明】加筋土挡墙属于柔性支挡结构,具有美观、造价低、施工简便和速度快等特点,已广泛应用于各种土木工程中。近年来,我国山区机场高填方工程陆续采用了加筋土挡墙。由于加筋土挡墙作用机制的复杂性,目前对各种环境下的筋—土相互作用机理缺乏足够的了解,现场专项试验是一种重要的认知途径。

5.4.3 对高填方工程的岩溶地基处理,应根据勘察资料、填挖高度和现场实际情况,进行试验研究。试验研究的内容宜包括:岩溶稳定性评判、岩溶处理方法的适宜性、处理效果的检测方法等。

5.4.4 对湿陷性黄土高填方工程,应根据现场实际情况对湿陷性黄土地基处理及高填方稳定性进行试验研究。试验研究的内容宜包括:原地基处理方法的适宜性、填筑压实技术的适宜性、高填方地基变形特性及其浸水湿陷量的实测等。

5.4.5 对膨胀土高填方工程,应对膨胀土地基处理及高填方稳定性进行试验研究,试验研究的内容宜包括:膨胀土高填方填筑技术的适宜性、膨胀土高填方边坡处理技术的适宜性,膨胀土对道基变形的影响及控制措施。

5.4.6 采用施工实时监控时,宜结合施工工艺进行现场相关性校验试验,并应符合下列要求:

- 1 建立传感器输出特征参数与常规质量检测指标的相互关系,并确定施工过程控制参数;
- 2 确定监控设备的定位精度和数据传输能力。

5.4.7 高填方工程中采用新技术、新材料和新工艺,且对工程质量与安全有不确定性影响时,应进行专项试验。

5.4.8 当需要验证高填方工程的实际变形与稳定性时,宜进行一定规模的工程实体专项试验,并同时开展相应的现场检测、监测等工作。

【条文说明】山区机场高填方的工程环境复杂,通过工程实体试验、现场监测以及反演分析,可

以掌握原地基与填筑体的沉降变形规律，验证设计参数与施工工法的有效性，同时为大面积施工技术管理积累经验。

5.5 试验段总结报告

5.5.1 试验段总结报告应全面反映试验施工、检测和监测等情况，对主要试验成果进行分析评价，并提出合理的结论和建议。

5.5.2 试验段总结报告的内容和格式可按本规范附录 F 执行。

6 原地基处理

6.1 一般规定

6.1.1 原地基处理设计应依据勘察资料,考虑场地分区、填料类型、填方高度、地形地貌等因素,结合原地基处理试验成果,进行技术经济比较,确定处理方案。

【条文说明】民用机场高填方工程多位于山区或丘陵地带,存在特殊的地质与地形条件,高填方工程的“削山填谷”式高挖低填产生较多高大、高陡填方,其地基设计具有一定的特殊性。

6.1.2 飞行区道面影响区、飞行区土面区和填方边坡稳定影响区地基处理应满足其功能要求;航站区、工作区及预留发展区地基处理应满足场地平整(造地)的要求,其后续的建筑(构)筑物应根据具体使用要求进行二次处理,场地平整(造地)地基处理不得给后续工程产生地质隐患及实施困难。

6.1.3 填挖交界处、土岩交界处、处理方法不同的地基交界处、土石方填筑与结构物结合处等应进行过渡段处理。

【条文说明】高填方机场一般地形起伏变化较大、工程地质条件复杂多变、占地面积大、建设环境复杂,地基处理或土石方填筑时经常遇到填挖交界、土岩地基交界、不同地基处理方法交界、土石方填筑与建筑(构)筑物交界等情况,这些交界处是地基处理的薄弱部位,易引起差异沉降。在这些薄弱部位,应根据具体情况进行过渡衔接处理,以控制地基差异沉降。因地质条件、场地环境、地基使用要求、临近建筑(构)筑物等因素不同,交界处的情况也复杂多样,其过渡处理措施也应因地制宜。近年来的高填方机场建设,针对交界处采取了一些行之有效的做法:在填挖交界处,根据原地面坡度,可开挖台阶或超挖放坡与开挖台阶相结合,如昆明长水机场、重庆江北机场、六盘水机场、泸沽湖机场等采用道基顶面以下0~3 m超挖放坡不大于1:8,3 m~8 m超挖放坡不大于1:2,8 m以下超挖放坡不大于1:1,并开挖宽度不小于2 m台阶;在土岩地基交界处,超挖土岩地基交界处的基岩,必要时超挖放缓原基岩面并设置搭接垫层;在不同地基处理方法的交界处,扩大强夯、冲击碾压的处理范围,或设置垫层、土工合成材料等措施进行搭接。

6.1.4 原地基处理范围应不小于本规范第3.0.3条的规定。

6.2 填方区地基

6.2.1 飞行区道面影响区的原地基处理应重点控制沉降，加快施工期沉降，减小工后沉降，提高地基的均匀性。填方边坡稳定影响区的原地基处理应重点增加地基土的抗剪强度，提高地基的抗滑移性能。

6.2.2 填方区原地基沉降计算应考虑大面积荷载的影响，选取计算参数的试验受力状态应与计算土层的实际受力状态相一致。

【条文说明】高填方地基附加荷载大，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。

6.2.3 飞行区道面影响区填方原地基处理除应符合《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）的规定外，尚应符合下列要求：

- 1 浅部软弱土层厚度较小时，宜优先采用换填法处理；软弱土层厚度较大时，宜优先采用复合地基处理，或利用填筑体荷载进行堆载预压处理；
- 2 岩溶地基宜采用强夯、冲击碾压等方法消除不明隐伏岩溶的影响；
- 3 膨胀土地基应结合填筑体荷载确定是否处理和处理方法。

6.2.4 飞行区土面区填方原地基处理除应满足场地稳定外，尚应根据建（构）筑物设施的要求进行处理。

6.2.5 航站区及工作区填方原地基宜按建（构）筑物的要求进行处理，预留发展区填方原地基处理标准应考虑机场规划、二次处理难易程度等因素确定。

6.2.6 填方边坡稳定影响区原地基处理应根据稳定性分析确定处理范围。

6.3 挖方区地基

6.3.1 飞行区道面影响区挖方区地基设计应控制与填方区的变形协调，并满足地基强度的要求。

6.3.2 飞行区道面影响区挖方地基处理除应符合《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 土洞应进行处理；溶洞应根据开挖后的埋深进行稳定性判别，判别为不稳定时应进行处理；

2 道基顶面开挖出露岩石宜超挖并铺设厚度不小于 500 mm 的褥垫层, 褥垫层材料可采用级配良好、粒径不大于 150 mm 的碎石料、石质混合料或砾质混合料。

6.3.3 飞行区土面区顶面开挖出露岩石宜超挖并回填满足植被生长的填料, 超挖厚度宜不小于 200 mm。

6.3.4 航站区和工作区开挖至设计标高后, 宜根据建(构)筑物的要求确定地基处理方法; 预留发展区开挖至设计标高后可不进行处理。

6.4 滑坡防治

6.4.1 高填方影响范围内的滑坡应按施工过程中和填筑完成后的工况进行稳定性分析, 当稳定安全系数不满足要求时, 应采取防治措施。防治措施应优先结合土石方工程予以挖除或填筑反压。

【条文说明】高填方工程填筑完成后, 原有滑坡可能因填筑后处于填筑体内部而稳定, 则可不处理。高填方工程土石方填挖方量大, 滑坡治理采用挖除或填筑反压的措施, 可结合土石方调配统筹考虑增加的土石方工程量。

应根据滑坡类型、规模及不稳定性程度, 并结合场地地质及周边环境条件、施工技术和施工季节, 综合采取削坡减载、坡脚反压、挡墙、注浆加固、抗滑桩、预应力锚索、格构锚固、截排水、支撑渗沟以及坡面植被等措施。

6.4.2 斜坡稳定性分析应依据勘察资料, 考虑地质条件、水文及气象条件、填筑体荷载等的不利影响。抗震设防烈度为 7 度及 7 度以上时, 尚应进行地震工况的稳定验算。

【条文说明】为进行斜坡稳定分析需要全面了解场地及其周边一定范围内的地层构造、岩体节理裂隙分布及产状、岩土体力学特性、地表及地下水分布及可能的变化情况等。对可能发生的会有严重影响的滑坡要进行专门的详细勘察。水位的升高和降低都可能对斜坡稳定发生不利影响, 要根据具体情况进行分析。要特别注意泥岩等岩石浸水之后会明显软化, 强度显著降低。

对于四季温差较大的地区, 浅层较细颗粒的土体可能会发生冻胀、融陷问题, 雨量充沛地区难以避免场地岩土体受到水的影响, 地震对高陡斜坡的稳定性会有较大影响, 对于这些应有充分估计, 并据工程的重要性、发生滑坡后灾害的严重性确定设计标准, 保证足够的安全储备。

6.4.3 斜坡稳定性分析应根据可能的滑裂面形状, 采用条分法、剩余推力法等进行。对较复杂的情况可进行数值计算, 高度较大时宜考虑粗粒填料强度的非线性特性。

【条文说明】对于无明显软弱夹层、性质大致均匀的土质斜坡或破碎岩体斜坡, 一般可采用简单条分法计算其稳定安全系数, 而对于有明显弱勢面的斜坡宜采用剩余推力法进行计算, 对于潜

在滑移体基本是由多个块体组成的情况可采用机动极限法进行计算。对于更为复杂的情况可采用降低强度参数的有限元方法进行计算。粗粒填料的强度一般呈现非线性的特性，主要是其内摩擦角随压应力增大而减小，这在分析粗粒填料高边坡的稳定性时有必要考虑。

6.4.4 采用削坡减载、坡脚反压措施时，应避免引起坡顶、坡脚等部位产生新的滑坡。

【条文说明】斜坡上岩土体重量一般既产生滑移力也产生抗滑力，不适当的削坡减载所起作用有限，甚至会有副作用，要根据情况进行计算分析。同时要注意在分析斜坡稳定性时，不能仅看到局部的斜坡，而要从更大范围来进行分析。对某一局部斜坡的上部进行削坡减载时，可能会引发更上部斜坡的滑动；而对这斜坡的坡脚进行压载时，可能会降低下方潜在滑移面的稳定性。

6.4.5 对碎散岩土构成的滑坡体应慎用抗滑桩，对较大厚度的岩质滑坡体在采取抗滑桩的同时宜设置锚索。

【条文说明】对于碎散滑坡体，特别是大方量的碎散滑坡体，采用抗滑桩效果较差。这不仅是因为桩有一定的净间距，更主要的是因为散碎岩土体可从桩后向上挤出。如采用抗滑桩则应采用多级，往往很不经济。如采用钢筋混凝土格构辅以喷射混凝土面层加预应力锚索更为经济合理一些。对于大厚度岩质滑坡体可采用抗滑桩，但此时桩悬臂受力，宜加设预应力锚索增强桩的抗侧力性能。

6.4.6 滑坡防治工程应根据场地地质条件及区域水文气象条件，设置地表水及地下水排水系统。

【条文说明】山区高填方工程的防排水有着较大的难度，因为原场地的地表水系及地下水系往往较为复杂，而高填方工程又可能对这原本复杂的水系产生复杂的影响。场地的防排水设计要综合考虑整个场地各个部位的防排水措施，保证整个防排水体系的科学有效性。

潜在滑移面附近部位的防排水对保证斜坡稳定有重要作用，在设计、施工阶段对此均应高度重视，采取可靠的措施，保证防、排水的有效性。地下水防排水措施考虑的要素有潜在滑移面状况及其所处部位含水层和隔水层的水文地质结构及地下水特征。滑移面的状况指其形状，包括倾向、走向及分布范围，水文地质结构指含水层、透水层的组合、分布。

6.4.7 高填方工程的施工方案应避免因施工诱发滑坡。

【条文说明】对高填方工程的施工要事先制定详细的施工方案，科学安排施工顺序、规划施工运输道路等，对施工过程每个阶段斜坡的稳定性进行评价分析，切实避免施工过程中发生滑坡、塌方等事故。

6.4.8 顺坡填筑时，应对原地基坡面的软弱覆盖层予以清除或加固处理，且宜将坡面做成台阶状，并应采取措施防止填筑体与原地基斜坡界面积水。

【条文说明】对于岩体斜坡，将其坡面做成台阶状可有效增强原斜坡地基与填筑体间界面的抗滑移强度。原地基与填筑体间界面积水会显著降低界面抗滑移强度，要注意避免。

6.4.9 当高填方原地基中已存在滑坡，或高填方填筑体荷载将诱发原地基滑坡时，应结合土石方工程及原地基处理工程予以综合整治。

6.4.10 对永久边坡的滑坡治理措施应保证加固构件及防、排水设施的耐久性。

【条文说明】要根据场地环境的腐蚀性大小对滑坡治理所采用的抗滑桩、预应力锚索、混凝土格构等构件采取措施，保证其耐久性，具体可参考有关结构耐久性设计技术标准。对排水盲沟的设计要有防止其发生淤堵的措施。

7 填方工程

7.1 一般规定

7.1.1 填方工程设计前，应收集场区及周边地质、水文、地形、地貌、气象、地震等资料。

7.1.2 应根据填料类型和储量，结合土石方填筑试验成果，进行高填方工程土石方填筑设计和施工，并根据各场地分区对填料的要求合理调配各种填料。

7.1.3 地势设计应符合下列要求：

- 1 应符合《民用机场飞行区技术标准》（MH 5001）对各部位坡度和障碍物限制的要求；
- 2 应考虑与规划设施的衔接，做到本期合理并兼顾远期；
- 3 应满足导航台站对场地平整的要求；
- 4 全场地势应结合地形，宜使总体趋势与原始地形尽量一致，在满足使用要求的前提下应少挖少填，宜做到填挖平衡；
- 5 跑道和滑行道的纵坡应考虑与周边建（构）筑物的衔接；
- 6 应满足场区防洪、排水的需要；
- 7 应通过多方案比较，选择土石方工程量少的设计方案，必要时调整跑道、航站楼等设施的位置；
- 8 挖方区土石比和填挖比难以可靠确定时，应考虑土石比和填挖比变化的风险，采用动态设计法进行地势设计。

7.1.4 道基填挖交界处应设置过渡段，采取冲击碾压、强夯、挖台阶、设置土工合成材料等措施。

7.2 开挖和爆破

7.2.1 土方开挖施工应符合下列规定：

- 1 填料应分类开挖、分类使用，不得混杂堆放或填筑；
- 2 开挖如遇特殊性土或暗坑、暗穴等不良地质作用，应按设计要求进行处理，设计文件无

处理要求时应报建设单位、监理单位和设计单位确定处理方案；

- 3 土方开挖应自上而下进行，不得乱挖超挖，不得掏底开挖；
- 4 应采取临时排水措施，确保开挖作业面、地面不积水；
- 5 土方开挖至接近设计高程时，应对高程加强测量检查，并根据土质情况预留压（夯）实沉降量，不得超挖；
- 6 开挖至道床顶面时，应尽快进行道床施工；如不能及时进行道床施工，宜在设计道床标高以上预留厚度不小于 300 mm 的保护层。

7.2.2 石方开挖施工应符合下列要求：

- 1 石方开挖应根据岩石的类别、风化程度、岩层产状、断裂构造、施工环境等因素确定开挖方案；
- 2 深挖石方施工，应逐级开挖；
- 3 石方开挖至设计高程后，应按设计要求进行超挖并回填。

7.2.3 石方爆破施工应符合下列要求：

- 1 应根据工程的现场实际情况编制专项爆破施工方案；
- 2 应基于填料设计的粒径要求，通过现场试验确定合理的施工爆破参数与爆破方法；
- 3 应在距离设计坡面一定范围内采用预裂爆破或光面爆破技术；
- 4 爆破施工工艺流程、安全防护措施必须符合《爆破安全规程》（GB 6722）的规定。

7.2.4 开挖施工时，应采取措​​施保证开挖临时边坡的稳定。

7.3 调 配

7.3.1 土石方调配时，应根据填料分类和场地分区确定合理调配方案，宜就近调配，减少施工交叉。填料实际情况有变化时，应及时调整调配方案。

7.3.2 性质不同的填料应水平分层、分区填筑。

7.3.3 植物土宜用于飞行区土面区、工作区、净空处理区、规划航站区的表面绿化。

7.3.4 挖方和爆破产生的优质石料以及建筑废弃料宜作为建筑材料利用。

7.3.5 弃方应运至设计要求或建设单位指定的地点堆放或填筑。弃土场的压实、边坡设置、植被和排水等应符合设计要求。

7.4 填筑和压实

7.4.1 填料分类应符合本规范附录 A 的规定，各场地分区的填料选用应符合下列规定：

1 道床填料的强度应符合《民用机场水泥混凝土道面设计规范》（MH/T 5004）和《民用机场沥青混凝土道面设计规范》（MH 5010）的规定，道基应优先选用 A 类填料，D 类填料不得直接用于填筑道基。飞行区道面影响区道基以下应优先选用 A、B 类填料。

2 飞行区土面区可选用 A、B、C 类填料，且设计高程以下 200 mm 内不宜采用石料和土石混合料。

3 航站区、工作区可选用 A、B、C 类填料，拟采用桩基时，不宜使用对后续桩基施工有影响的填料。

4 预留发展区应根据总体规划，按远期建设时场地分区优先选择适宜填料。

5 填方边坡稳定影响区宜选用 A、B 类填料，采用 C 类填料时应专项研究。

6 D 类填料用于填筑时应专项研究。

【条文说明】场内开挖的土石方材料性质多样时，填料调配考虑的主要因素是不同场地分区对变形和强度的不同要求，如：岩石强度高、级配良好的填料优先用于填筑飞行区道面影响区和填方边坡稳定影响区；岩石为极软岩的填料强度较低，不适于填筑边坡；级配不良、强度较低的填料用于填筑土面区等对变形和强度要求不高的场地分区。航站区、工作区中的建筑物通常采用桩基础，填料为石料或含有大块石的土石混合料时，会增加桩基施工的难度。飞行区土面区设计高程以下 200 mm 内填料的规定是为了满足植草绿化要求，并且避免靠近道肩的石子被飞机发动机吸入。

7.4.2 石料、石质混合料、砾质混合料的压实指标宜采用固体体积率；土质混合料、土料的压实指标应采用压实度。各场地分区的土石方压实指标应符合《民用机场岩土工程设计规范》（MH/T 5027）的规定。

7.4.3 填筑施工前，应对原地面进行平整、压实，压实度检验合格后方可进行填筑施工。

7.4.4 填筑施工过程中，本层填筑体的压实指标经检验合格后方可进行下一道工序的施工。

7.4.5 石料填筑施工宜优先采用强夯法，应采用堆填法填筑，强夯前采用推土机推平。强夯施工参数宜通过单点夯击试验确定，试验应符合本规范附录 G 的规定。

【条文说明】堆填法即后退法卸料，在下层摊铺或压实完成的土层上卸料，压实机械在卸料后的上层压实。对土石混合料，可减少卸料抛洒导致的填料粗细颗粒分离。与堆填法相对的是抛填法，即前进法（进占法）卸料，车辆在刚铺好的松土上行走，由填筑区边缘卸料铺散向前扩展，压实机械在本填筑层顶面压实。土石混合料采用抛填法填筑易导致填料的粗细颗粒分离，填筑

后的填筑层与填筑前的填料级配发生改变。

堆填法和抛填法两种不同填筑施工方法的效果对比试验结果表明,在强夯施工参数相同的条件下,堆填法和抛填法施工的填筑体,其夯实效果的整体均匀性有明显差异。按施工经验,如果强夯施工的填筑厚度为4 m时,分3~4个亚层(亚层厚度1 m~1.3 m)堆填效果良好。

7.4.6 土石混合料填筑施工可优先选用冲击压实或振动碾压法,分层碾压过程中的松铺厚度、压实遍数、间歇时间等参数应通过试验段或现场试验确定。

【条文说明】当采用冲击碾压或振动碾压的工艺施工时,填料性质、压实机械的性能等均对施工参数有较大影响,因此需进行现场试验。

7.4.7 土料填筑施工应符合下列规定:

- 1 宜优先选用振动碾压或静压方法,松铺厚度按土质类别、压实机具性能等通过试验确定,当填筑至道基顶面时,顶层最小压实厚度应不小于100 mm;
- 2 压实过程中,应控制土料的含水率在最佳含水率 $\pm 2\%$ 的范围内。

8 边坡工程

8.1 一般规定

8.1.1 高填方边坡设计应优先采用坡率法或重力式挡墙。采用坡率法时宜充分利用有利地形或设置反压平台等稳固坡脚，边坡支挡可采用衡重式或仰斜式的重力式挡墙、加筋土挡墙、悬臂式桩板挡墙、扶壁式挡墙等型式。

【条文说明】边坡支护型式有坡率法、重力式挡墙、扶壁式挡墙、悬臂式挡墙、桩板式挡墙、板肋式或格构式锚杆挡墙、排桩式锚杆挡墙、抗滑桩、加筋土、岩石喷锚等多种。其中，坡率法是边坡岩土体依靠自身黏聚力和重力作用下产生的抗滑力保持稳定，另外，山区征地和支挡结构的费用相比，采用坡率法也通常具有经济优势。重力式挡墙则是边坡岩土体依靠自身黏聚力和自身重力以及挡墙重力的作用下产生的抗滑力保持稳定。其余边坡支护型式除重力提供抗滑力外，还需借助锚杆力、支护结构内力等。只依靠自身黏聚力和重力作用产生的抗滑力保持稳定的支护型式为重力自稳的型式，该型的最大优点是边坡稳定不受支护结构设计使用寿命的影响。采用其他型式的支护结构，高填方边坡产生的土压力在支护结构中产生的内力会很可观，对支护结构的强度要求很高，除造价较高外，支挡结构的使用寿命也影响着高填方边坡的长期稳定和安全。

高填方边坡高度较高，支挡结构承受的土压力较大，且挡墙后为填方，采用衡重式或仰斜式的重力式挡墙有利于增加挡墙高度。加筋土挡墙可以增大放坡的坡比，减少征地。悬臂式桩板挡墙适用于边坡高度不大的情况，特别是原地基内存在危险滑动面，有滑坡可能性或已发生滑坡时，桩板挡墙既可作为抗滑桩，同时又可作为填方边坡的支挡结构。

8.1.2 高填方边坡的支挡结构应满足边坡整体稳定性的要求，支挡结构的地基应满足地基承载力和沉降的要求。

【条文说明】高填方边坡高度大，采用边坡支挡结构时，作用在支挡结构上的土压力较大，支挡结构既要承受高填方边坡的土压力，还要满足边坡整体稳定性的要求。采用重力式挡墙时，由于重力式挡墙的自重较大，原地基有时不能满足承载力及沉降要求，需要增大挡墙基础的埋深或进行挡墙地基处理。

8.1.3 高填方边坡设计应验算边坡的整体稳定性，计算时应考虑地下水和不利地质条件的影

响。存在不良地质作用时,应根据不良地质作用的类型、影响程度采取相应措施。

【条文说明】边坡设计计算一般先整体后局部,先验算整体稳定性,再验算支挡结构的稳定性。存在滑坡等不良地质作用时,先采取挖填、支挡、注浆等措施消除其影响。

8.1.4 高填方边坡应针对可能的工况条件,分级验算边坡的稳定性。坡体材料的强度参数应根据现场试验成果合理选用。

【条文说明】由于施工工况与施工完成后边坡工作环境可能有很大的不同,边坡工程不仅要确保施工完成后的边坡安全,也要确保施工中的安全,因此提出本要求。

8.1.5 作用在支护结构上的土压力可按库仑主动土压力计算,有地下水渗流作用时,尚应考虑渗流力的影响。对于衡重式挡墙,当上墙为坦墙时,上墙主动土压力应按第二破裂面法计算。

8.1.6 挡墙基底平均压应力不应大于基底的承载力特征值。挡墙可采用放大基础、混凝土扩展基础及桩基础。

8.1.7 抗震设防烈度为6度的地区,边坡工程支挡结构应采取抗震构造措施;抗震设防烈度6度以上的地区,应进行地震工况边坡稳定验算。

8.1.8 高填方边坡应设置排水设施。

8.1.9 高填方边坡应根据需要设置台阶和检查梯。

8.1.10 高填方边坡的坡面应采取防护措施,防护措施宜结合绿化、景观等设计。

8.2 坡率法

8.2.1 填方边坡坡率应根据填料的物理力学性质、边坡高度和工程地质条件等确定,边坡上部为停机坪和服务车道时,尚应考虑飞机和车辆荷载。边坡填料应符合本规范第7.4节的规定,压实指标应符合《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)的规定。

8.2.2 高填方边坡宜采用台阶式,每级边坡高度宜为10 m,每级边坡间设置马道,马道宽度宜为2 m~3 m。最下一级边坡高度小于5 m时,与其上一级边坡间可不设马道。边坡坡率应通过稳定性计算分析确定,稳定性计算分析应符合《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)的规定。单独采用坡率法时,下级边坡坡率不应陡于上级边坡,最上一级边坡坡率不宜陡于表8.2.2的规定值。浸水边坡在设计水位以下的边坡坡率不宜陡于1:1.75。

表 8.2.2 高填方边坡最上一级边坡坡率

填料代号	边坡坡率（高宽比）
A1、A3、A5	1 : 1.3
A2、A4、A6、A7、B1	1 : 1.5
A8、A9、A10、B2、B3、B4	1 : 1.75

注：1 填料代号见本规范附录 A 的规定。

2 填料为 C、D 类时，应专项研究。

【条文说明】高填方边坡因地形地质复杂且高度较大，难以给出普遍性的建议坡率。但边坡稳定计算和工程实践表明，一般情况下，边坡自上而下的坡率逐级变缓对边坡稳定更有利。边坡上部局部稳定性主要与填料相关，因此，条文根据民用机场高填方边坡工程经验给出最上一级边坡坡率建议值，无成熟的地区经验时，可参照设计。条文的坡比是从边坡稳定的安全角度考虑，设计时，除满足稳定要求外，坡率尚应考虑坡面绿化等因素。马道宽度主要考虑施工便利和排水沟设置。

8.2.3 位于斜坡上的填方边坡应验算其沿斜坡滑动的稳定性。分层填筑前，应将斜坡的坡面修成若干向内倾斜的台阶，倾斜坡度宜大于 4.0%，台阶宽度宜大于 2 m，台阶高度应与斜坡天然坡度相适应。

8.2.4 边坡填筑施工应自下而上分层进行，每一层填筑施工完成后均应进行相应技术指标的检测，合格后方可进行下一道工序施工。

8.2.5 坡率法可单独采用，下列情况时，应与其他边坡支护方法联合使用。

- 1 放坡填筑对相邻建（构）筑物有不利影响；
- 2 单独采用坡率法不能有效改善整体稳定性；
- 3 场地不具备放坡条件。

8.3 边坡支挡

I 重力式挡墙

8.3.1 重力式挡墙设计应进行抗滑移、抗倾覆稳定性及地基稳定性验算。重力式挡墙高度较大时还应验算墙身截面的抗压强度，必要时验算墙身截面的抗剪强度。

8.3.2 重力式挡墙的抗滑移稳定性应按式（8.3.2-1）~（8.3.2-5）验算，计算简图见

图 8.3.2。

$$F_s = (G_n + E_{an})\mu / (E_{at} - G_t) \geq 1.3 \quad (8.3.2-1)$$

$$G_n = G \cos\alpha_0 \quad (8.3.2-2)$$

$$G_t = G \sin\alpha_0 \quad (8.3.2-3)$$

$$E_{at} = E_a \cos(\alpha_0 + \delta - \alpha) \quad (8.3.2-4)$$

$$E_{an} = E_a \sin(\alpha_0 + \delta - \alpha) \quad (8.3.2-5)$$

式中: F_s ——挡墙抗滑移稳定安全系数;

G ——挡墙每延米自重 (kN/m);

α_0 ——挡墙底面倾角 ($^\circ$);

E_a ——每延米主动岩土压力合力 (kN/m);

δ ——墙背与岩土摩擦角 ($^\circ$);

α ——墙背与铅垂线的夹角 ($^\circ$);

μ ——挡墙底与地基岩土体的摩擦系数,宜由试验确定,也可按表 8.3.2 选用。

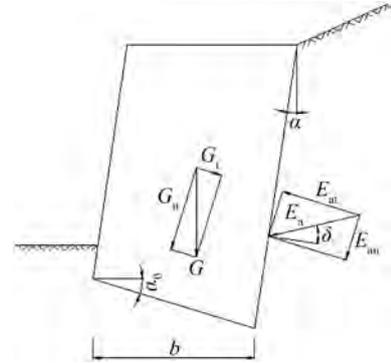


图 8.3.2 挡墙抗滑移稳定性验算

表 8.3.2 挡墙底与地基岩土体的摩擦系数 μ

岩土类别		摩擦系数 μ
黏性土	可塑	0.20~0.25
	硬塑	0.25~0.30
	坚硬	0.30~0.40
粉土		0.25~0.35
中砂、粗砂、砾砂		0.35~0.40
碎石土		0.40~0.50
极软岩、软岩、较软岩		0.40~0.60
表面粗糙的坚硬岩、较硬岩		0.65~0.75

8.3.3 重力式挡墙的抗倾覆稳定性应按式 (8.3.3-1) ~ (8.3.3-5) 验算, 计算简图见图 8.3.3。

$$F_t = (G \cdot x_0 + E_{az} \cdot x_f) / (E_{ax} \cdot z_f) \geq 1.6 \quad (8.3.3-1)$$

$$E_{ax} = E_a \cos(\delta - \alpha) \quad (8.3.3-2)$$

$$E_{az} = E_a \sin(\delta - \alpha) \quad (8.3.3-3)$$

$$x_f = b + z \tan\alpha \quad (8.3.3-4)$$

$$z_f = z - b \tan\alpha_0 \quad (8.3.3-5)$$

式中: F_t ——挡墙抗倾覆稳定安全系数;

b ——挡墙底面水平投影宽度 (m);

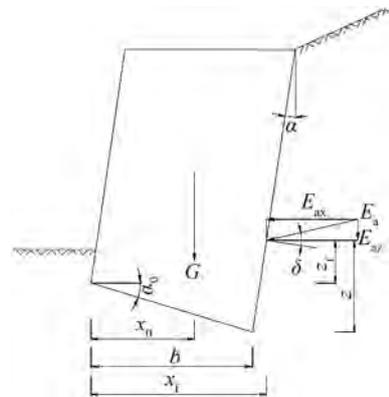


图 8.3.3 挡墙抗倾覆稳定性验算

x_0 ——挡墙中心到墙趾的水平距离 (m);
 z ——岩土压力作用点到墙踵的竖直距离 (m)。

8.3.4 挡墙基底合力的偏心距不应大于基底宽度 b 的 $1/6$ 。偏心距应按式 (8.3.4) 计算。

$$e = b_0/2 - (\Sigma M_y - \Sigma M_0)/\Sigma N \quad (8.3.4)$$

式中: e ——基底合力的偏心距 (m); 当为倾斜基底时, 为倾斜基底合力的偏心距;

b_0 ——基底宽度 (m), 倾斜基底为其斜宽;

ΣM_y ——稳定力系对墙趾的总力矩 (kN·m);

ΣM_0 ——倾覆力系对墙趾的总力矩 (kN·m);

ΣN ——作用于基底上的总垂直力 (kN)。

8.3.5 重力式挡墙材料可使用浆砌块石、条石或素混凝土。块石、条石的强度等级不应低于 MU30, 砂浆强度等级不应低于 M7.5, 混凝土强度等级不应低于 C15。

8.3.6 重力式挡墙的伸缩缝间距, 对条石、块石挡墙宜为 20 m~25 m, 对混凝土挡墙宜为 10 m~15 m。在挡墙高度突变处及与其他建(构)筑物连接处应设置伸缩缝, 在地基土性状变化处应设置沉降缝。缝宽宜为 20 mm~30 mm, 缝中应填塞沥青麻筋或其他有弹性的防水材料, 填塞深度应不小于 150 mm。

8.3.7 挡墙上应设置外倾坡度不小于 5% 的泄水孔, 间距 2 m~3 m, 宜按梅花形布置, 泄水孔直径宜不小于 100 mm, 进水侧应设置反滤层或反滤包。

8.3.8 块石、条石挡墙所用石材的上下面应尽可能平整, 块石厚度应不小于 200 mm。挡墙应分层错缝砌筑, 砂浆填塞应饱满, 严禁干砌, 基底和墙趾台阶转折处不应有垂直通缝, 外露面应用 M7.5 砂浆勾缝。

8.3.9 挡墙天然地基承载力不足时, 可采用加宽基础、地基处理或桩基础等措施。

II 加筋土挡墙

8.3.10 加筋土挡墙高度宜不大于 20 m, 挡墙分级时, 单级高度宜不大于 10 m。加筋土挡墙的拉筋材料宜采用土工格栅、复合土工带或钢筋混凝土板条等, 拉筋材料应具有抗拉强度高、延伸率小、蠕变变形小、有较好的耐腐蚀性和抗老化性等性能。

8.3.11 加筋土挡墙应进行抗滑移稳定、抗倾覆稳定、地基承载力等外部稳定性分析验算和拉筋强度、抗拔稳定、边坡坡度、面板结构设计等内部稳定性验算。

【条文说明】条文针对加筋土挡墙进行了规定, 加筋土边坡的稳定性计算目前国内规范尚无成熟的方法。根据美国 AASHTO 规范, 加筋土挡墙和边坡以坡度 70° 为分界, 坡度大于 70° 为加筋土挡墙, 不大于 70° 为加筋土边坡, 两者的设计方法不同。加筋土挡墙稳定性设计主要采用库仑直

线破坏模式, 沿用土压力理论; 加筋土边坡稳定性设计则采用圆弧破坏模式, 沿用边坡稳定性分析方法。然而这两种设计方法的区分方式并不科学, 通过一些研究成果发现: 可以采用对数螺旋线破坏模式将两者进行统一。

对于均质边坡失稳的破坏模式, 已有的室内离心机试验结果已经可以说明其最危险破坏面与对数螺旋线相吻合。对于加筋土边坡, Bathurst 等 (Bathurst, R. J. and Benjamin, D. J. Failure of a geogrid-reinforced soil wall. Transportation Research Board, 1990, 1288: 109-116.) 和 Zornberg 等 (Zornberg, J., Sitar, N. and Mitchell, J. Performance of Geosynthetic Reinforced Slopes at Failure. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 1998, 124 (8): 670-683.) 分别采用大型模型试验和离心机模型试验进一步验证了其最危险破坏面也是与对数螺旋线保持一致。因此, 试验研究结果可以验证加筋土边坡采用对数螺旋破坏机制的合理性。

实际上, 国外一些规范已经推行了基于对数螺旋破坏机制的加筋边坡稳定性分析方法, 如英国的 BS8006 中的“Code of practice for strengthened-reinforced soils and other fills”、美国陆军工程师兵团的 REMR-GT-23 中的“Design Procedure for Geosynthetic Reinforced Steep Slopes”、德国的 DIBT “Geosynthetic reinforced soil structure”。

对数螺旋破坏机制在土体塑性理论框架下满足与摩尔—库仑破坏准则相关联流动法则, 是极限分析上限定理下运动许可的机动场。极限分析方法是一种理论严格的方法, 同时可以避免极限平衡法中诸多假设的需要。因此, 采用对数螺旋破坏机制的极限分析法开展加筋土边坡稳定性分析是理论严格、计算简洁的。陈祖煜 (陈祖煜. 土力学经典问题的极限分析上、下限解. 岩土工程学报, 2002, 24 (1): 1-11) 建立了广义极限分析法, 将边坡稳定性问题和地基承载力问题进行了统一, 并开发了对应的 EMU 软件。基于该软件平台, 可以直接发展基于对数螺旋破坏机制的加筋边坡稳定性分析方法。下面详细说明其计算方法。

(1) 加筋土边坡应通过稳定性设计确定加筋材料的铺设方式、铺设层数、铺设长度。由于机场高填方工程的加筋土边坡通常具有高度高、分级多等特点, 还应对其进行内部和外部稳定性分析。内部稳定破坏指滑动面穿过加筋材料 (包括部分穿过加筋材料), 需复核库仑直线和对数螺旋线两种可能发生的破坏模式。外部稳定性分析系指滑动面不直接穿越加筋材料的可能破坏模式。内部稳定性分析中一般采用对数螺旋线破坏模式, 对于接近直立挡墙可采用库仑直线破坏模式。一般要求内部与外部稳定安全系数值均不小于 1.3。

(2) 使用强度折减法定义折减后的土体有效应力粘聚力 c'_e 和土体有效应力内摩擦角 φ'_e , 如式 (说明 8.3.11-1) 和 (说明 8.3.11-2):

$$c'_e = \frac{c}{F} \quad (\text{说明 } 8.3.11 - 1)$$

$$\tan\varphi'_e = \frac{\tan\varphi}{F} \quad (\text{说明 } 8.3.11 - 2)$$

式中: c'_e ——折减后的土体有效应力粘聚力 (kN);

φ'_e ——折减后的土体有效应力内摩擦角 ($^\circ$);

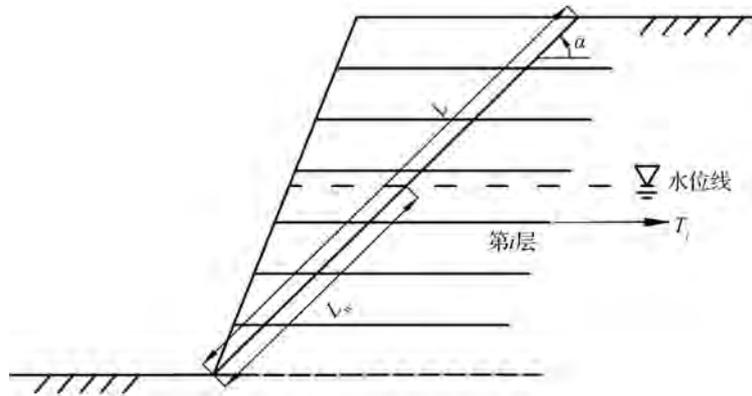
F ——安全系数；

c' ——土体有效应力粘聚力 (kN)；

φ' ——土体有效应力内摩擦角 ($^{\circ}$)。

(3) 考虑库仑直线破坏模式 (见说明图 8.3.11-1) 进行加筋土边坡内部稳定性分析, 应采用式 (说明 8.3.11-3) 计算安全系数。

$$c'_e \cos \varphi'_e L - u \sin \varphi'_e L_w - W \sin(\alpha - \varphi'_e) + \sum_{i=1}^n T_i \cos(\alpha - \varphi'_e) = 0 \quad (\text{说明 } 8.3.11-3)$$



说明图 8.3.11-1 加筋土边坡库仑直线滑动模式

式中: L ——滑动面总长度 (m)；

L_w ——孔隙水压力作用在滑动面上的总长度 (m)；

u ——作用在 L_w 上的平均孔隙水压力 (kPa)；

W ——滑动体的重力 (kN)；

T_i ——第 i 层筋材提供的抗拔力 (kN), 当滑动面穿过该层筋材, 按式 (8.3.13-6) 计算；

n ——加筋层数；

α ——直线滑动面与水平线的夹角 ($^{\circ}$)。

在计算中变动定义滑动面的几何参数 α , 找到最小安全系数及其对应的临界滑动面, 作为设计值用于稳定性复核成果。

当需要考虑坡顶荷载和地震作用时, 应计入垂直向下的表面外力和水平地震力。

(4) 考虑对数螺旋线破坏模式 (见说明图 8.3.11-2) 进行加筋土边坡内部稳定性分析, 应采用式 (说明 8.3.11-4) 计算安全系数。

$$\int_{\theta_0}^{\theta_h} c'_e A^2 e^{2(\theta-\theta_0) \tan \varphi'_e} d\theta - \int_{\theta_u}^{\theta_h} u \tan \varphi'_e A^2 e^{2(\theta-\theta_0) \tan \varphi'_e} d\theta - M + \sum_{i=1}^n T_i A e^{(\theta_i-\theta_0) \tan \varphi'_e} \sin \theta_i = 0 \quad (\text{说明 } 8.3.11-4)$$

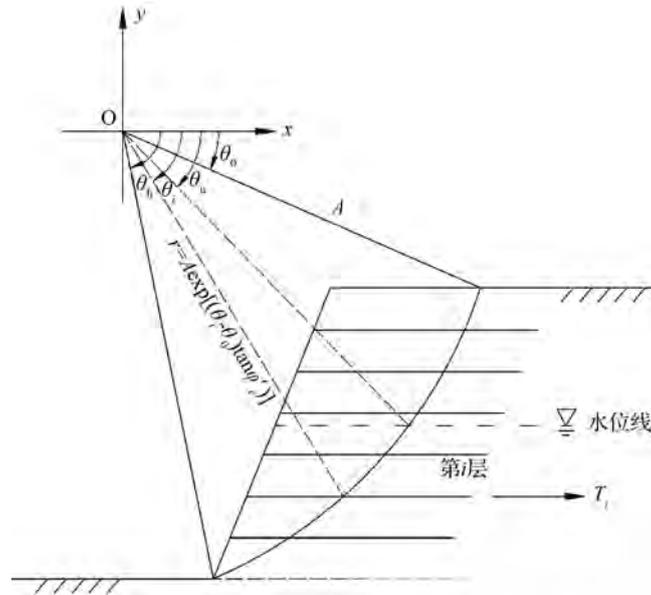
式中: A ——对数螺旋线的初始半径 (m);

θ ——对数螺旋线的转动弧度;

θ_u ——水位对应的对数螺旋线的转动弧度;

u ——作用在滑动面上的孔隙水压力 (kPa);

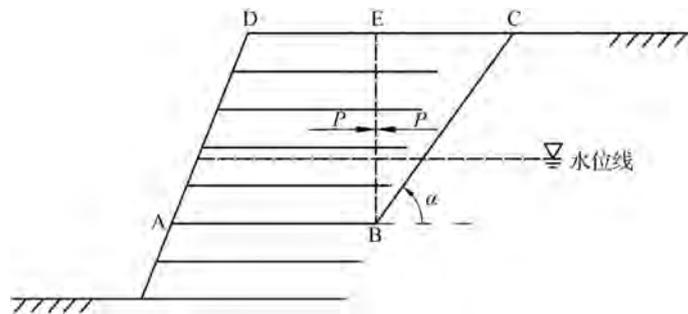
M ——整个滑动体重量相对转动中心 O 的力矩 ($\text{kN} \cdot \text{m}$)。



说明图 8.3.11-2 加筋土边坡对数螺旋线滑动模式

安全系数 F 隐含于式 (说明 8.3.11-1) 和 (说明 8.3.11-2) 中, 可通过迭代求解。式 (说明 8.3.11-4) 中包含对数螺旋线破坏模式的两个未知变量 (θ_0 和 θ_u), 通过迭代计算获得最小安全系数及其对应的临界滑动面, 作为设计值用于稳定性复核成果。

(5) 加筋土边坡外部稳定性分析采用极限分析上限法计算安全系数, 通过 B 点引入垂直条分面 (见说明图 8.3.11-3), 假定条间力方向为水平向。采用式 (说明 8.3.11-5) 计算安全系数。



说明图 8.3.11-3 加筋土边坡外部稳定分析的破坏模式

$$\begin{aligned}
& [(c'_e \cos \varphi'_e - u \sin \varphi'_e)L - \Delta W \sin(\varphi'_e)]_J \\
& + \frac{\sin(\pi/2 - \alpha + 2\varphi'_{e,s})}{\sin(\pi/2 - \varphi'_{e,s} - \varphi'_{e,J})} [(c'_e \cos \varphi'_e - u \sin \varphi'_e)L - \Delta W \sin(\alpha - \varphi'_e)]_S \\
& + \frac{\sin(\pi/2 - \alpha + 2\varphi'_{e,s})}{\sin(\alpha - \varphi'_{e,s} + \varphi'_{e,J})} [(c'_e \cos \varphi'_e - u \sin \varphi'_e)L]_I = 0
\end{aligned}$$

(说明 8.3.11-5)

式中： J ——表示沿筋材 AB 滑动的块体 ABDE；

S ——表示沿墙后填土 BC 滑动的块体 BCE；

I ——表示两块体的交界面 BE；

L ——对应的滑动面长度 (m)；

u ——作用在对应的滑动面上平均孔隙水压力 (kPa)；

ΔW ——对应的滑动体重力 (kN/m)；

α ——墙后滑动面 BC 与水平线的夹角 (°)；

$\varphi'_{e,J}$ ——加筋材料与土体之间的有效内摩擦角 (°)；

$\varphi'_{e,s}$ ——墙后土体的有效内摩擦角 (°)；

P ——双滑块破坏模式垂直界面上作用的水平向内力。

在计算中变动定义滑动面 BC 的几何参数 α ，通过迭代计算最小安全系数，作为设计值用于外部稳定性复核成果。原则上，需对不同位置的筋材 AB 逐条复核。

8.3.12 加筋土挡墙外部稳定性验算时，可将其视为重力式实体墙进行抗水平滑移和抗倾覆验算，当墙下地基土质较差时还应进行地基承载力验算。

8.3.13 加筋土挡墙的内部稳定验算包括筋材强度验算和抗拔出验算，应按式 (8.3.13-1) ~ (8.3.13-6) 计算。

$$T_i = K_i \sigma_{vi} S_{vi} S_{hi} \quad (8.3.13-1)$$

式中： T_i ——筋材所受拉力值 (kN)；

K_i ——土压力系数；

σ_{vi} ——筋材所处深度处竖向平均压应力 (kPa)；

S_{vi} ——筋材竖向间距 (m)；

S_{hi} ——筋材水平间距 (m)，筋材满铺时取 1 m。

K_i 应按式 (8.3.13-2) 和式 (8.3.13-3) 计算。

$0 < z_i < 6$ m 时，

$$K_i = K_0 - (K_0 - K_a) z_i / 6 \quad (8.3.13-2)$$

$z_i \geq 6$ m 时，

$$K_i = K_a \quad (8.3.13-3)$$

式中: z_i ——墙顶距第 i 层筋材的高度;

K_0 ——静止土压力系数;

K_a ——主动土压力系数。

筋材强度验算应按式 (8.3.13-4) 和式 (8.3.13-5) 计算, 安全系数应不小于 1。

$$F_{sa} = A_e R_k / T_i \quad (8.3.13-4)$$

$$R_k = R_t / F \quad (8.3.13-5)$$

式中: F_{sa} ——筋材强度安全系数;

A_e ——筋材有效截面积, 筋材满铺时取 1 m 宽度范围内的筋材有效截面积 (m^2);

R_k ——筋材材料抗拉强度标准值 (kPa);

R_t ——试验测得的筋材材料抗拉强度值 (kPa);

F ——考虑施工损伤、材料蠕变以及生物化学作用使筋材强度降低的因数, 据筋材种类在 1.5~3.5 间取值。

筋材抗拔出验算应按式 (8.3.13-6) 计算, 抗拔出安全系数 F_{sp} 应不小于 1.3。

$$F_{sp} = 2B_i \sigma_{vi} L_{ai} f_i / T_i \quad (8.3.13-6)$$

式中: F_{sp} ——筋材抗拔出安全系数;

B_i ——筋材宽度 (m);

L_{ai} ——筋材伸过图 8.3.13 所示破裂面的长度 (m);

f_i ——第 i 层加筋所处土层与筋材间摩擦系数, 应根据专项试验成果确定, 无条件做试验时对一般筋材可取 $0.67 \tan \varphi_{gi}$, φ_{gi} 为筋材所处部位土体内摩擦角标准值。

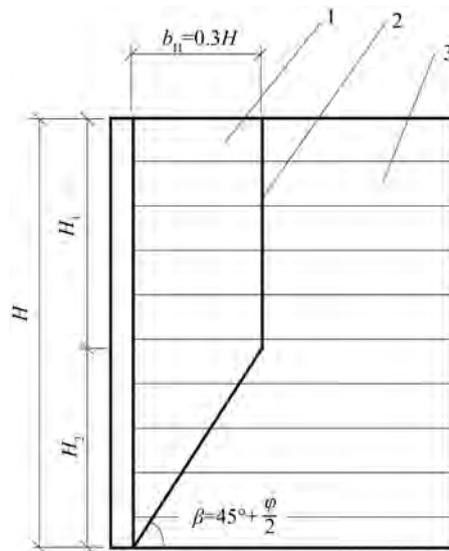


图 8.3.13 加筋土挡墙简化破裂面示意图

1—滑动土体; 2—破裂面; 3—稳定土体

8.3.14 土工格栅包裹式加筋土挡墙筋材回折包裹长度应按式 (8.3.14) 计算。

$$L_0 = De_{ai} / [2(p_b + \gamma h_i \tan \delta_0)] \quad (8.3.14)$$

式中: L_0 ——计算拉筋层的水平回折包裹长度, 为水平投影长度 (m);

D ——拉筋的上、下层间距 (m);

e_{ai} ——加筋土挡墙墙面第 i 层拉筋处的水平土压应力 (kPa);

p_b ——拉筋与填料之间的黏结力 (kPa);

γ ——填料重度 (kN/m^3);

h_i ——拉筋所处深度 (m);

δ_0 ——拉筋与填料之间的摩擦角 ($^\circ$), 填料为砂类土时取 0.5~0.8 倍内摩擦角。

8.3.15 筋材之间连接或筋材与墙面板连接时, 连接强度不得低于设计强度。墙面板与土工格栅及复合土工带拉筋之间应采用连接棒或其他连接方式等强度连接; 墙面板与钢筋混凝土板条拉筋之间以及钢筋混凝土板条拉筋段之间应采用电焊等强度连接。

8.3.16 墙面板应设模口或连接件与周边墙面板间相互密贴。包裹式挡墙墙面板宜采用在加筋体中预埋钢筋与墙面板进行连接, 钢筋埋入加筋体中的锚固长度宜不小于 3.0 m。

8.3.17 包裹式加筋土挡墙拉筋应采用统一的水平回折包裹长度, 其长度应大于计算值, 且宜不小于 2.0 m。加筋土体最上部 1、2 层拉筋的回折长度应适当加长。

8.3.18 面板内侧应沿整个墙高设置反滤层。

III 悬臂式桩板挡墙

8.3.19 悬臂式桩板挡墙高度宜不大于 12 m, 桩间距、桩长和截面尺寸应根据侧压力大小和嵌固段地基承载力等因素确定。

8.3.20 对有滑动面的边坡及工程滑坡, 应取滑动剩余下滑力与主动岩土压力两者中的较大值进行桩板式挡墙设计。

8.3.21 作用在桩上的荷载宽度可按其左右两相邻桩桩中心距离的一半计算。作用在挡土板的荷载宽度可按板的计算跨度计算。

8.3.22 桩板式挡墙用于滑坡支挡时, 滑动面以上桩前滑体抗力可由桩前剩余抗滑力或被动土压力确定, 设计时选较小值。当桩前滑体可能滑动时, 不应计其抗力。

8.3.23 桩板式挡墙桩身内力计算时, 临空段或边坡滑动面以上部分桩身内力, 应根据侧压力或滑坡推力计算。嵌入段或滑动面以下部分桩身内力, 宜根据地面或滑动面处弯矩和剪力, 采用地基系数法计算。地基系数值宜根据试验资料、地方经验和工程类比综合确定。

8.3.24 桩板式挡墙的桩嵌入岩土层部分的内力采用地基系数法计算时, 桩的计算宽度可按

列规定取值:

圆形桩: $d_p \leq 1$ m 时,

$$B_p = 0.9(1.5d_p + 0.5) \quad (8.3.24 - 1)$$

$d_p > 1$ m 时,

$$B_p = 0.9(d_p + 1) \quad (8.3.24 - 2)$$

矩形桩: $b_p \leq 1$ m 时,

$$B_p = 1.5b_p + 0.5 \quad (8.3.24 - 3)$$

$b_p > 1$ m 时,

$$B_p = b_p + 1 \quad (8.3.24 - 4)$$

式中: B_p ——桩身计算宽度 (m);

b_p ——桩宽 (m);

d_p ——桩径 (m)。

8.3.25 桩身混凝土应连续灌注,不得形成水平施工缝。当需加快施工进度时,宜采用速凝、早强混凝土。

IV 扶壁式挡墙

8.3.26 扶壁式挡墙高度宜不大于 10 m, 并应采用现浇钢筋混凝土结构。

8.3.27 扶壁式挡墙的基础应置于稳定的岩土层中, 其埋置深度应根据地基稳定性、地基承载力、冻结深度、水流冲刷情况以及岩石风化程度等因素确定。

8.3.28 挡墙的侧向主动土压力宜按第二破裂面法计算。当不能形成第二破裂面时, 可用墙踵下缘与墙顶内缘的连线或通过墙踵的竖向面作为假想墙背计算, 取其中不利状态的侧向压力作为设计控制值。

8.3.29 挡墙结构构件截面设计应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 的有关规定执行。

8.3.30 挡墙结构应进行混凝土裂缝宽度的验算。迎土面的裂缝宽度应不大于 0.2 mm, 背土面的裂缝宽度应不大于 0.3 mm, 并应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》(GB 50010) 的有关规定。

8.3.31 挡墙的抗滑、抗倾稳定性验算应按本规范重力式挡墙的有关规定执行。

8.3.32 扶壁式挡墙的混凝土强度等级应根据结构承载力和所处环境类别确定, 且不应低于 C25。立板和扶壁的混凝土保护层厚度应不小于 35 mm, 底板的保护层厚度应不小于 40 mm。受力钢筋直径应不小于 12 mm, 间距宜不大于 250 mm。

8.3.33 扶壁式挡墙尺寸应根据强度和变形计算确定，并应符合下列规定：

- 1 两扶壁之间的距离宜取挡墙高度的 $1/3 \sim 1/2$ ；
- 2 扶壁的厚度宜取扶壁间距的 $1/8 \sim 1/6$ ，且宜不小于 300 mm；
- 3 立板顶端和底板的厚度应不小于 200 mm；
- 4 立板在扶壁处的外伸长度，宜根据外伸悬臂固端弯矩与中间跨固端弯矩相等的原则确定，可取两扶壁净距的 0.35 倍左右。

8.3.34 挡墙位于纵向坡度大于 5% 的斜坡时，基底宜做成台阶形。

8.3.35 扶壁式挡墙纵向伸缩缝间距宜采用 10 m~15 m。宜在不同结构单元处和地层性状变化处设置沉降缝，且沉降缝与伸缩缝宜合并设置。挡墙的泄水孔设置及构造要求等应按本规范第 8.3.7 条规定执行。

8.3.36 墙身混凝土强度达到设计强度的 70% 后方可在墙后填土，填土应分层夯实。扶壁两侧回填宜对称实施。

8.3.37 当挡墙墙后原地面的横坡坡度大于 1:6 时，应在进行表面粗糙处理后再填土。

8.4 坡面防护

8.4.1 坡面防护宜优先采用植物防护，也可采用工程防护。

1 植物防护宜与边坡绿化相结合，可采用种草或喷播植草、铺草皮、栽植灌木等形式，并根据当地气候、土质、含水率等因素，选用易于成活、便于养护和经济的植物种类。植物类型应预防鸟害。

2 工程防护可采用砌石、混凝土框架、水泥混凝土预制块等形式，高寒地区宜采用混凝土框架。土工格室、土工网、土工网垫等土工合成材料也可用于工程防护。

8.4.2 植物防护应符合下列规定：

1 种草或喷播植草防护，草籽应均匀撒布在已清理好的土质坡面上，同时做好保护措施。对不利于草类生长的土质，可在坡面先铺一层 100 mm~150 mm 厚的植物土。

2 铺草皮防护宜选用厚度约 100 mm 的带状或块状草皮。

3 土质边坡可采用灌木栽植防护，但灌木高度应符合障碍物限制的要求。

8.4.3 工程防护应符合下列规定：

1 砌石护坡应选用质地坚硬、耐风化石料，砌石厚度宜不小于 300 mm。

2 混凝土框架护坡应紧贴于坡面现场浇筑，强度不宜低于 C25。

3 混凝土预制块护坡可采用四方体或六方体等形式，厚度宜不小于 150 mm，强度不宜低于 C20。

- 4 土工合成材料护坡应选用抗老化材料，铺设时应在坡面固定。
- 5 工程防护宜和植物防护相结合使用。

9 排水工程

9.1 一般规定

- 9.1.1** 排水系统的布置应充分利用有利地形和自然水系，并结合机场排水系统，全面规划，合理布置，防止冲刷农田、鱼塘和村庄等。
- 9.1.2** 排水设计应注意环境保护，防止水土流失。
- 9.1.3** 对水文地质条件复杂的地区，应进行专项研究。
- 9.1.4** 排水设施的结构型式应根据当地建筑材料的来源、上部荷载以及专项研究成果综合确定。
- 9.1.5** 机场施工过程中，应做好临时排水，满足地下水、地表水和坡面水等的排放要求，有条件时应结合机场的永久性排水设施设置。

9.2 原地基排水

9.2.1 原地基排水应确保原有水系排水畅通；对地表有积水或泉水露头处，应设盲沟、截水沟或涵洞引至场外。

9.2.2 原地基存在泉眼、原地面水系因填筑被改变时，应设置原地基排水设施。

【条文说明】山区机场高填方工程常因挖填等施工措施截断或堵塞而改变原地基中的水流状态，会对原地基、填筑体、边坡稳定产生不良影响。一般情况下，对于填方工程造成的原地基中水流状态的改变通过地基排水的方式来解决，而由于挖方工程造成的原地基中水流状态的改变通过地表排水的方式来解决。

9.2.3 排水设施应有充分的排水能力，原地基排水量小时，可采用盲沟、排水管、网状排水带等型式；原地基排水量大时，可采用水平排水层和管涵等型式。排水设施应满足反滤要求。

【条文说明】在进行原地基排水设计时，排水规模和范围通常根据原地基中水流的最大流量考虑，同时也应关注当地水流环境对排水设施可能造成的淤堵影响。考虑原地基排水设施的长期

渗透特性,在原地基排水设施中设置反滤层是保证排水设施渗流安全的重要手段,即便原地基排水措施处于非饱和和非稳定状态,这种反滤设计也是必要的。

9.2.4 盲沟的设置应符合下列要求:

- 1 盲沟线路不宜改变或破坏原有流向。
- 2 盲沟与地基处理不相互影响时,可同时或提前设置;与地基处理相冲突时,应在地基处理完成后设置。
- 3 应根据场地原始地形、地表汇水面积和流量设置主、次盲沟,并应相互连接。
- 4 盲沟断面尺寸及数量应根据最大可能流量确定。

9.2.5 排水管道的设置应符合下列要求:

- 1 排水管数量、位置、长度和管径应根据排水能力计算确定;
- 2 排水管应留有收集渗水的缝隙或在管壁上开孔,缝隙宽度和开孔孔径可根据反滤料的粒径计算确定。

9.2.6 网状排水带的设置应符合下列要求:

- 1 网状排水带中的纵向排水带厚度与宽度应根据渗流计算确定;
- 2 横向排水带应具有将纵向排水带汇集的渗水全部排出地基外的能力,其厚度与宽度应根据渗流计算确定。

9.2.7 水平排水层的设置应符合下列要求:

- 1 排水层的材料可采用砂、卵石、砾石、碎石等;
- 2 排水层的厚度应根据渗流计算确定。

9.2.8 管涵的设置应符合下列要求:

- 1 管涵平面布置应根据地形条件、工程地质和水文地质条件确定;
- 2 管涵布置数量和位置应根据排水能力设计;
- 3 通过排水管排出的渗水在管涵内统一收集后排出管涵。

9.3 填筑体排水

9.3.1 填筑体内宜根据填料情况设置盲沟、水平排水层和管涵等排水设施,并与坡面排水相衔接。填筑 A 类填料时可不设内部排水。

9.3.2 应根据填筑体内水的来源确定排水设施的位置。对地表大气降水的下渗水,应在填筑体上部设置排水设施;对填筑体内可能壅高的地下水,应在填筑体内设置排水设施。寒冷地区的排水体出口,应采取防冻措施。

9.3.3 填筑体排水设施应符合反滤要求。

9.3.4 填筑体排水型式应结合排水量、材料来源等情况，经技术经济比较确定，并应符合下列要求：

1 排水层的厚度应满足排水要求，厚度不宜小于一层填筑碾压层厚，排水层最小厚度应满足反滤层最小厚度的要求；

2 当缺乏砂、卵石、砾石、碎石或排水量很大时，可采用塑丝排水笼或塑料排水管，管周围应设反滤层。

9.3.5 填筑体排水设施的出水口应与边坡排水系统相结合，并采取反滤措施。

9.4 边坡排水

9.4.1 边坡排水系统的平面布置应根据地形地貌、水文及边坡填筑设计等条件，与填筑体排水及场外排水相结合，在坡顶、坡面、坡脚等部位设置截水、集水和排水设施，将水引至场外排水系统。

9.4.2 坡面排水设施可采用竖向和横向排水沟，并应采取防止冲刷、渗漏等加固措施，其末端应设置消能、沉淀等设施，避免集中水流对地表的冲蚀，并应符合下列规定：

1 竖向可每 30 m~50 m 设置一道排水沟，沟底可设置跌水台阶，边坡底部出水口可设置消力池；

2 马道内侧设截水沟，竖向排水沟与截水沟在马道衔接。

【条文说明】竖向排水沟有由上至下贯通布置或每级边坡交错布置两种方法，具体方案需根据工程的实际条件进行对比分析。当汇水流量及流速均较大时，存在边坡冲刷的风险，需要在沟底设置跌水台阶、边坡底部出水口可以设置消力池，以此来减小排水的冲击能量。

9.4.3 边坡坡脚排水沟的出水口应结合地形设置，将水排引至场外排水设施。

9.4.4 边坡排水系统中截水、集水、排水等各种沟体的断面尺寸和纵向坡度应根据边坡高度、汇水面积、地形等因素，经水力计算确定，并应符合下列规定：

1 排水沟纵坡坡度的设计，应使沟内水流的流速不超过排水沟的最大允许流速；否则应对沟壁采取防冲刷措施。

2 坡顶、坡脚排水沟底纵坡坡度应不小于 0.1%，马道排水沟底纵坡坡度应不小于 0.5%。

9.4.5 坡顶汇水宜排入场内或场外排水系统，不宜通过边坡排水。

9.4.6 边坡排水结构可采用砌石结构、混凝土结构等，寒冷地区宜采用混凝土结构并满足抗冻要求。

10 施工过程控制

10.1 一般规定

- 10.1.1 高填方工程应做好原地基处理、填方工程、边坡工程和排水工程的施工过程控制。
- 10.1.2 施工过程中，应重点做好施工准备、低温和雨季施工。
- 10.1.3 高填方工程施工宜采用实时监控技术。
- 10.1.4 高填方工程施工应贯彻绿色施工理念。

10.2 施工准备

10.2.1 高填方工程在施工前应具备下列条件：

- 1 完成征地拆迁，确定施工边线；
- 2 落实水土保持监测、环境监理、施工期和工后期的变形监测等工作；
- 3 明确场区内外排水、道路等设施的衔接；
- 4 完成各种设计文件、技术方案等的审查、交底及论证工作；
- 5 确定场区施工道路、土石方调配的整体方案；
- 6 建立卫星定位连续运行参考站（CORS）。

【条文说明】建立卫星定位连续运行参考站（CORS）的目的是方便测量、便于土石方工程量快速计算，同时还可作为施工实时监控的基础设施。

10.2.2 高填方施工组织设计应根据工程特点，针对填料类别、土石比和填挖比的变化、标段衔接等，制定具有可控制性和可操作性的施工技术方案，施工工艺和工序应合理安排。

10.2.3 施工前应对测量控制点进行复测，并经复核后建立各标段的施工控制网。

10.2.4 施工期间应设置临时排水系统，临时排水系统宜根据施工进度及时调整，并宜与永久排水系统相结合。

10.2.5 应合理布置运输线路，并根据施工场地条件变化适时调整，做好交通组织。

10.2.6 应根据工程特点、复杂程度和季节性因素，并考虑高填方施工开挖和运输设备的降效情况，确定主要资源和设备配置量。

【条文说明】主要资源配置计划包括下列内容：

- (1) 确定总用工量、各工种用工量及工程施工过程各阶段的各工种劳动力投入计划；
- (2) 确定主要建筑材料、构配件和设备进场计划，并明确规格、数量、进场时间等；
- (3) 确定主要施工设备进场计划，并明确型号、数量、进出场时间等。

10.2.7 宜收集施工过程中主要施工面和重要设备的实时图像和数据信息。

10.3 施工实时监控

10.3.1 应对原地基处理和土石方填筑过程及其压实质量进行实时监控。

【条文说明】目前针对高填方填筑质量的控制主要包括两方面：一是依靠监理工程师负责施工过程控制，但是由于现场压实作业的工作量大、工作面广，难以全面控制工程质量；二是通过压实后检测压实质量，并作为评判填筑压实质量的主要依据，但受限于取样数量，也难以全面反映整个作业面的压实质量。

为强化过程管理，条文强调宜采用施工实时监控措施对施工过程和压实质量进行监控。以压实机械为主体，安装自动监测装置，实时监测过程数据，通过数据链实现远程传输，记录并分析实时数据，将压实过程和压实质量情况实时、直观地展现给作业和管理人员，指导施工过程控制，达到质量控制的目的。

10.3.2 施工实时监控的内容应包括：

- 1 采用冲击碾压或振动碾压等连续压实工法时，应实时监控和记录松铺和压实厚度、压实轮迹、压实遍数、压实速度等指标；
- 2 采用强夯等间歇压实工法时，应实时监控和记录松铺和压实厚度、夯点位置、夯击次数、夯沉量和夯锤提升高度等指标；
- 3 实时监控和记录运输车辆行驶路径、距离。

10.3.3 全场施工前宜结合试验段工程开展施工实时监控试验，并应符合下列要求：

- 1 结合工程压实方案确定试验段施工监控方案；
- 2 分析各监控指标对压实质量的影响，确定监控指标与压实指标之间的关系。

【条文说明】为兼顾施工质量和工程效率，应在参考相关工程经验的基础上，通过试验段确定监控指标与压实指标的关系。在达到工程质量要求的前提下，确定监控指标的标定值，将其输入监控系统中，作为施工质量过程控制的标准。

10.3.4 压实质量的实时采集、远程传输和分析处理应符合下列要求：

- 1 监控系统应能够实时采集、存储和处理全场施工的监控指标数据，结合监控指标的标定值，及时评估填筑质量，对相关信息进行统计分析；
- 2 实现对填筑质量信息的实时查询和展示，将质量问题反馈至相关责任人；
- 3 对施工进度、标段信息、人员信息、车辆信息等相关信息进行实时记录和管理。

【条文说明】全场施工过程中，需要面对数据量庞大的压实质量监控指标信息和复杂的工程标段信息、人员信息、车辆信息等。为使施工方、业主方和监理方等各方能够及时获取到工程施工的相关信息，提高工程相关各方的沟通水平，实现压实质量的全面和远程实时监控，需要建立压实质量远程实时监控系统。

10.4 低温和雨季施工

10.4.1 填料为石料、石质混合料和砾质混合料时，可进行低温施工；填料为土质混合料和土料时不宜进行低温施工，进行低温施工时应采取适当措施。

10.4.2 低温施工时，下列材料不得作为填料：

- 1 冻土块粒径大于 150 mm 或含量大于 5%的填料；
- 2 含有保温材料等杂质的填料；
- 3 在填筑施工过程中易产生冻结的填料。

【条文说明】填料中冻土块粒径大于 150 mm，或冻土块的质量占填料总质量的比大于 5%时，低温施工易产生冻结或冻胀。含有保温材料杂质指低温施工时防冻覆盖的保温材料混入填料。

10.4.3 低温施工时，填方边坡表层 1 m 以内不得用冻土填筑。

10.4.4 低温施工填筑时，每层松铺厚度应减少 20%。

10.4.5 高填方工程填料为土质混合料和土料时，不宜安排在雨季连续降雨期间施工。

10.4.6 雨季进行高填方施工，应注意气象条件，做好防汛准备。雨后继续施工应满足下列条件：

- 1 应检测挖方区土料的含水率，如大于最佳含水率的 2%，不得用于填筑；
- 2 填方区不得有积水、积淤和“弹簧土”现象；
- 3 应刮除或翻晒计划回填区域 150 mm 厚度的饱和度较高的表层土，并碾压；
- 4 易软化、易崩解的石料，应随爆、随运、随填、随压实，并在压实表面做成一定的排水坡度；
- 5 填料为土质混合料或土料时，雨天不宜进行填筑体碾压施工。

10.4.7 高填方工程雨季施工，应保持施工区排水通畅，并做好运输道路维护。

【条文说明】雨季施工现场场地的排水和道路维护一般按下列方法实施：

(1) 根据施工总平面图、排水总平面图，利用自然地形确定排水方向，采取永久排水与临时排水相结合的原则，按规定坡度挖好排水沟，确保施工现场排水畅通。

(2) 按防汛要求设置连续、通畅的排水设施和其他应急设施，防止泥浆、污水外流或堵塞排水沟。

(3) 在高地的边缘（开挖坡面上侧）和马道处挖好截水沟，防止洪水冲入现场或引起滑坡灾害。周边截水沟深度及底宽不小于1 m，沟底纵坡不小于0.5%。长度超过500 m时，设置纵向排水沟、跌水或急流槽。

(4) 雨季前做好施工现场高边坡处的危石处理，已开挖面可视地质情况做必要的防护措施，防止滑坡、坍塌造成次生灾害。防止施工场地周边的地表水汇入回填区内引发泡槽、积涝现象。

(5) 及时疏浚填方区排水系统，确保回填区域排水畅通。避免雨水沿回填表面自流，造成表面冲刷，引起回填边坡的滑坡和坍塌。在大面积的回填面上，分区开挖排水沟、汇水沟，排水沟深度及底宽不小于1 m，汇水沟深度及底宽不小于0.5 m，沟底纵坡均不小于0.2%。

(6) 对路基易受冲刷的部分，铺石块、砾石、炉渣等渗水防滑材料，或者设涵管排泄，保证路基稳固。指定专人负责维修路面，对路面不平或积水处及时修理。场区内主要道路可以硬化处理。

10.5 绿色施工

10.5.1 应根据设计要求和工程环境条件，系统分析施工中潜在的环境问题，并制订有效的生态环境保护方案。

10.5.2 施工时，施工设施应利用场地现有建筑物、道路、通讯、电力、给水、排水等设施。

10.5.3 应按照临时设施和永久设施相结合的原则，合理规划和建设施工排水系统和道路系统。施工主要道路宜设置于填挖零线附近。

10.5.4 原地面地表土处理应符合下列要求：

- 1 应统一规划场地堆放植物土，复垦时利用；
- 2 当场地存在污染土时，应按相关规定进行专门堆存并进行处理。

10.5.5 防止水土污染的措施应符合下列要求：

- 1 施工前，应根据工程环境条件制定水土污染预防措施；
- 2 现场施工机械维修、保养和使用过程中产生的含油废水、生活区生活污水、现场施工和生活垃圾的处理应符合环保部门的规定。

10.5.6 防止水土流失的措施应符合下列要求：

- 1 施工前，应根据相关规定制定预防水土流失措施以及土地资源利用规划，缩短临时占地使用时间；
- 2 在崩塌、滑坡危险区和泥石流易发区严禁取土、挖沙、采石；
- 3 施工过程中，应根据地形、地质、水文条件、施工方式等，采取拦挡、削坡、护坡、截排水等保护措施；
- 4 统一规划排水出口，排出的水不得直接排放到饮用水源、农田或鱼塘中。

10.5.7 施工时，对噪声污染的防治应符合下列要求：

- 1 在居民聚居区或其他噪声敏感建筑物附近施工，当噪声超过规定时，应及时采取措施，减少施工活动对场地周边居民的干扰；
- 2 对施工作业人员，在噪声较大的现场作业时，应采取有效防护措施。

10.5.8 施工时，对空气污染的防治应符合下列要求：

- 1 施工过程中应采取控制扬尘、废气排放等；
- 2 粉煤灰、石灰等施工堆料场、机械停放地、临时生活区等宜设置于主要风向的下风处的空旷地区，对易飘散物采取覆盖等措施；
- 3 填料为土料时，应避免在大风天作业；
- 4 应根据场地环境条件，采用合理措施减少挖方与运输等作业的扬尘。

10.5.9 施工时，生物保护应符合下列要求：

- 1 施工前，应采取相应措施对施工范围内的珍稀动植物进行保护；
- 2 施工中严禁随意采摘、破坏野生植物资源及捕猎野生动物；
- 3 在有国家级保护的野生动物出没区域，应按规定做好相关保护工作；
- 4 应按相关法规的要求，对场区内的林木进行处置；
- 5 在草、木较密集的地区施工时，应遵守护林防火规定。

10.5.10 施工时，文物保护应符合下列要求：

- 1 在文物保护单位周围进行施工时，应制定相应的保护措施，严防损毁文物古迹；
- 2 施工中发现文物时，应暂停施工，保护好现场，并立即报告当地文物管理部门研究处理，不得隐瞒不报或私自处置。

10.5.11 宜采用新能源、低排放的机械和设备进行施工。

11 质量检验

11.1 一般规定

11.1.1 高填方工程的质量检验应包括原地基处理工程、填方工程、边坡工程和排水工程等质量检验。

11.1.2 高填方工程的质量检验应依据下列资料：

- 1 测量资料、岩土工程勘察资料；
- 2 相关设计文件；
- 3 相关规范及检测技术要求；
- 4 施工计划及施工资料。

11.1.3 质量检验前应根据工程的具体情况编制检测方案，内容应包括检测项目、检测设备型号及参数、检测点位置、检测频率、检测数量等。

11.1.4 应对检测数据记录、整理、汇总并进行分析，宜建立现场检测数据系统平台。

11.2 原地基处理

11.2.1 原地基处理的检验要求宜按场地分区、工程地质条件、地基处理方法等综合确定，检验的指标、方法和数量应符合设计要求。

【条文说明】 原地基处理质量检验的检测时间、检测项目、检测频次、时间间隔、检测要点等与地基处理方法等密切相关，不能一概而论。原地基处理的检测项目及数量应根据场地复杂程度、场地分区和采用的地基处理方法确定，检测内容宜包括地基承载力、变形参数、复合地基增强体的施工质量评价，检测方法可选择平板载荷试验、钻芯法、静力触探试验、动力触探试验、标准贯入试验、波速测试等，复合地基载荷试验可用于测定承压板下应力主要影响范围内复合土层的承载力。

11.2.2 换填（垫层）地基的检测，换填材料为土料和土质混合料时应进行压实度检测，换填材料为石料、石质混合料和砾质混合料时应进行干密度或固体体积率检测，检测方法应符合本

规范附录 H 的规定。

11.2.3 强夯地基的检验应符合下列规定：

1 强夯处理后检验应有一定的时间间隔，对碎石土和砂土地基，间隔时间宜为 7 d~14 d；粉土和黏性土地基宜为 14 d~28 d；强夯置换地基间隔时间宜为 28 d。

2 强夯地基检验宜采用静力触探、动力触探、标准贯入、载荷试验等多种原位测试方法和室内土工试验进行综合检验；强夯置换地基宜采用重型或超重型动力触探试验等方法查明置换墩体长度、密实度情况和着底情况，并检测复合地基承载力或单墩承载力。

11.2.4 复合地基的检验应符合下列要求：

1 散体材料的复合地基增强体应进行密实度检测，有粘结强度的复合地基增强体应进行强度及完整性检测。

2 复合地基承载力检测应采用复合地基静载荷试验，对有粘结强度的复合地基增强体尚应进行单桩静载荷试验。

3 对挤密作用复合地基除检测桩体干密度或压实度外，还应对处理深度范围内的桩间土进行标准贯入试验或其他原位测试方法；对消除湿陷性的工程，尚宜进行浸水静载荷试验。

11.3 填方工程

11.3.1 土石方压实质量检测可采用环刀法、灌砂法、灌水法、原位测试等方法，检测结果应符合设计要求，检测数量应符合表 11.3.1 的规定，且每个施工区不少于 3 点。

表 11.3.1 压实质量检测数量要求

分区		检测数量
飞行区道面影响区		土料、土质混合料每层每 1 000 m ² 测 1 点，砾质混合料每层每 2 000 m ² 测 1 点，石料、石质混合料每层每 4 000 m ² 测 1 点
填方边坡稳定影响区		土料、土质混合料每层每 1 000 m ² 测 1 点，砾质混合料每层每 2 000 m ² 测 1 点，石料、石质混合料每层每 4 000 m ² 测 1 点
飞行区土面区	跑道端安全区 升降带平整区	土料、土质混合料每层每 1 000 m ² 测 1 点，砾质混合料每层每 2 000 m ² 测 1 点，石料、石质混合料每层每 4 000 m ² 测 1 点
	其他土面区	土料、土质混合料每层每 2 000 m ² 测 1 点，砾质混合料每层每 4 000 m ² 测 1 点，石料、石质混合料每层每 6 000 m ² 测 1 点

续表

分区	检测数量
航站区	土料、土质混合料每层每 1 000 m ² 测 1 点，砾质混合料每层每 2 000 m ² 测 1 点，石料、石质混合料每层每 4 000 m ² 测 1 点
工作区	土料、土质混合料每层每 2 000 m ² 测 1 点，砾质混合料每层每 4 000 m ² 测 1 点，石料、石质混合料每层每 6 000 m ² 测 1 点

注：1 压实层厚大于 1 m 时，采用灌砂法、灌水法可分亚层检测，或采用原位测试检测。

2 固体体积率采用灌水法检测时，应符合本规范附录 H 的规定。

11.3.2 土石方工程完工高程检测应符合表 11.3.2 的规定，检测方法采用水准仪。

表 11.3.2 高程检测要求

分区		检测数量	允许偏差 (mm)
飞行区道面影响区		10 m×10 m 方格网控制点	土料：+10、-20 石料、土石混合料：+20、-30
飞行区土面区	跑道端安全区 升降带平整区	20 m×20 m 方格网控制点	±30
	其他土面区	20 m×20 m 方格网控制点	±50
航站区		10 m×10 m 方格网控制点	±30
工作区		20 m×20 m 方格网控制点	±50

注：允许偏差指测量高程和设计高程的允许差值。

【条文说明】土石方工程完工指道面施工等下一道工序的起始时刻，对填方工程来说，一般为自重沉降期的结束时刻。

11.3.3 土石方工程完工平整度检测应符合表 11.3.3 的规定，检测方法采用 3 m 直尺测最大间隙，取连续 5 尺的最大值。

表 11.3.3 平整度检测要求

分区		检测数量	允许偏差 (mm)
飞行区道面影响区		每 1 000 m ² 测 1 处	≤20
飞行区土面区	跑道端安全区 升降带平整区	每 2 000 m ² 测 1 处	≤50
	其他土面区	每 5 000 m ² 测 1 处	≤50
航站区		每 2 000 m ² 测 1 处	≤50
工作区		每 5 000 m ² 测 1 处	≤50

11.4 边坡工程

11.4.1 采用坡率法的边坡工程应进行坡率和坡面防护质量检验。

11.4.2 砌石重力式挡墙的质量检验应包括地基检验、石料强度检验、砂浆强度检验、挡墙断面尺寸检验、灰缝砂浆饱满度检验、泄水孔的数量及畅通性检验等。

11.4.3 素混凝土重力式挡墙的质量检验应包括地基检验、混凝土强度检验、挡墙断面尺寸检验等。

11.4.4 钢筋混凝土支挡结构的质量检验应包括混凝土强度、钢筋的型号及强度、结构断面尺寸、钢筋保护层厚度、钢筋数量、支挡结构构件的完整性检验等。

11.4.5 加筋土挡墙的质量检验应包括筋材的强度、筋材的延展率、筋材铺设的间距和长度、筋材接头的搭接长度及强度、筋材与面板的连接强度、回填土每层压实厚度等。坡面设置泄水孔时，应检验泄水孔的数量及畅通性。

11.4.6 边坡工程质量检验的数量、方法和指标应符合设计或相关规范要求。

11.5 排水工程

11.5.1 应对原地基排水、填筑体排水和边坡排水进行工程质量检验。

11.5.2 原地基排水盲沟的质量检验应包括碎石的粒径、含泥量以及土工织物的规格、抗拉强度、渗透系数等指标。

11.5.3 原地基排水管涵的质量检验应包括管涵的断面尺寸、强度等指标。

11.5.4 填筑体排水的质量检验应包括碎石等排水层的厚度、坡度、级配、含泥量等指标。

11.5.5 边坡排水的质量检验应包括排水结构断面尺寸、坡度、材料强度等指标。

11.5.6 排水工程质量检验的数量、方法和指标应符合设计或相关规范要求。

12 监测和动态控制

12.1 一般规定

12.1.1 高填方工程监测应分别制定施工期和工后期的监测方案。

【条文说明】机场高填方工程每个阶段都有其自身特点，影响因素和监测目的不同。为了确保工程安全、运行安全，做到保证质量、合理施工和经济适宜，针对机场建设、运行不同阶段的监测目的和任务不同。

12.1.2 原地基、填筑体、边坡区、道面监测宜包括下列内容：

- 1 原地基沉降；
- 2 填筑体分层沉降、表面沉降；
- 3 边坡的表面位移和内部位移，支护结构位移和应力；
- 4 道面表面沉降；
- 5 孔隙水压力和地下水位。

【条文说明】原地基表面沉降监测是为了解整个原地基的沉降情况；原地基分层沉降监测是为了解原地基各土层的沉降情况；孔隙水压力监测是为了解每层土的超静孔隙水压力消散情况；地下水位监测是为了解地下水位的升降情况；利用上述监测数据综合分析每层土的固结规律，通过每层土及整个原地基的沉降曲线掌握原地基实时沉降量，预测未来沉降量和沉降完成时间。填筑体分层沉降监测是为了解填筑体各层的压缩沉降情况；填筑体表面沉降监测是为了解填筑体和原地基的总沉降量，进而厘清填筑体的压缩量；填筑体内水位监测是为了解地下水对填筑体的沉降的影响；利用填筑体分层沉降及填筑体总沉降曲线掌握填筑体实时压缩量，预测未来压缩量和压缩完成时间；通过原地基、填筑体沉降数据，分析高填方地基的沉降完成量，进而确定高填方的沉降稳定时间和上覆结构层的施工时间。边坡表面位移、内部位移监测是为了解高填方边坡的变形情况，通过监测数据分析高边坡的稳定性。支护结构位移和应力监测用于和设计对比，校核安全性，并作为确定施工开挖、填筑方案的依据。道面表面沉降监测是为了解道面施工后至机场运行过程中道面的沉降和差异沉降情况，利用监测数据判断沉降和差异沉降是否处于设计允许的安全范围。

监测内容可根据不同阶段工程特点适当调整。监测点的布设、监测仪器元件的安装埋设、

监测的周期和频率，可根据不同阶段的监测方案执行。

12.1.3 高填方工程宜采用新技术进行实时监测。

【条文说明】机场高填方工程监测项目较多、周期较长，采用常规监测手段通常与施工相互干扰较大，需耗费较多人力物力，数据采样有限，部分监测项目精度也有待提高。光纤光栅、合成孔径雷达等应用于监测已有若干案例，引进和创新适用于高填方机场监测有技术经济优势的新技术、新材料，实现无线、数字化、实时监测，将提高监测对工程的反馈效率和精度。

12.2 监测要求

12.2.1 高填方地基变形监测和高填方边坡监测应符合《民用机场勘测规范》（MH/T 5025）的规定，挖方边坡和支护结构监测应符合《建筑边坡工程技术规范》（GB 50330）的规定。

12.2.2 施工期测点周围应设置明显标志并进行编号。监测期间应保护测点。重要部位监测点应加密。

12.2.3 监测数据记录应注明监测日期和时间、天气，施工期监测尚应记录填筑高度、填料情况、填筑方法、测点布置和保护状况等。

12.2.4 遇变形速率增大、暴雨、地震及其他意外情况，应立即监测并加密监测频率。

12.3 监测数据分析

12.3.1 监测数据分析应符合下列要求：

- 1 收集勘察、设计、施工、检测等资料，包括地基土类型、地基处理方法、填料类型、填筑方法等，并建立分析模型；
- 2 预测工后沉降和工后差异沉降；
- 3 综合评价边坡的稳定性。

12.3.2 监测数据成果和分析宜包括下列内容：

- 1 原地基沉降时程曲线、沉降速率；
- 2 分层沉降时程曲线、分层压缩量、沉降速率；
- 3 填筑体表面沉降时程曲线、沉降速率、差异沉降、沉降等值线；
- 4 边坡表面和内部位移、边坡稳定性分析；
- 5 支护结构位移时程曲线；
- 6 道面沉降时程曲线；

- 7 孔隙水压力变化时程曲线；
- 8 地下水位变化时程曲线。

【条文说明】利用原地基的监测数据可以绘制原地基沉降量时程曲线，计算原地基的固结度和沉降速率；利用填筑体监测数据可以绘制各类填料分层压缩时程曲线、计算各分层填料压缩完成情况和沉降速率，进而通过拟合法、灰色系统理论法、人工神经网络法、遗传算法等方法对填筑体进行沉降预测。利用表面沉降监测数据可以绘制表面沉降时程曲线、沉降等值线，计算地表总沉降量、沉降速率，并对工后沉降和工后差异沉降进行预测。通过边坡监测数据可以掌握边坡表面及内部位移变化情况，根据边坡位移情况评价边坡稳定性。通过支护结构监测数据可以掌握支护结构的位移情况，并结合填筑情况，评价支护结构的稳定性。利用道面沉降监测数据可以绘制道面沉降时程曲线、沉降等值线，计算道面总沉降量、沉降速率，并对工后沉降和工后差异沉降进行评价。利用地下水位监测数据可以掌握地下水位变化情况，并预测地下水位的变化及对原地基和填筑体的影响。通过孔隙水监测数据可以掌握孔隙水压力变化情况，并预测孔隙水压力的变化及对原地基的影响。

12.3.3 监测报告应符合下列要求：

- 1 原地基处理与土石方施工工期监测成果宜提供周报；土石方施工完成至竣工验收前监测成果宜提供周报或月报；运行期监测成果宜提供季报或年报。
- 2 道面施工前监测成果宜提供道基沉降分析阶段性报告；竣工及行业验收前监测成果宜提供全场变形监测总报告。
- 3 监测报告应主要包括监测图件、监测数据和分析等。

12.4 动态控制

12.4.1 监测数据突变时，应进行复测、分析原因并采取相应措施。

12.4.2 边坡变形速率或支挡结构内力异常时，应提出预警并制定控制预案。

12.4.3 应根据工后沉降和工后差异沉降分析和预测，提出高填方地基沉降稳定标准。

【条文说明】沉降监测的重要目的之一是确定道面铺设起始时间，该时间是以设计要求允许的工后沉降为控制指标来确定的，工后沉降需要通过沉降监测数据来预测。确定变形稳定周期是一个时间离散化问题，周期长短主要取决于变形值的大小和速率。通过对沉降监测数据进行分析，建立沉降与时间的关系曲线，根据工后沉降标准，反算沉降速率，从而确定沉降稳定控制标准。采用沉降速率来判定沉降是否稳定（即工后沉降是否满足设计要求）对工程更为方便。由于地基和填筑等因素的复杂性和资料积累的有限性，目前高填方地基沉降稳定的判别没有成熟的标准，这一判别标准需要研究确定。

12.4.4 预测的填筑体表面工后沉降或工后差异沉降不满足设计要求时，宜延长自重沉降期，或采取加快沉降稳定的措施，并继续进行沉降监测。

【条文说明】根据昆明长水机场、重庆江北机场等工程的经验，加快沉降稳定的措施包括堆载预压、强夯、冲击碾压等。堆载预压附加应力作用范围内的填筑体压缩会加快，堆载的荷载较大时，可以加快下部填筑体沉降；强夯可以加快填筑体上部沉降，影响深度和强夯能级有关，强夯能级越大影响深度越大；冲击碾压可以加快填筑体浅部沉降。强夯、冲击碾压后可在道基浅部形成强度和刚度相对较大的硬壳层，增大应力扩散角。

附录 A 民用机场高填方工程填料分类

A.0.1 民用机场高填方工程填筑材料可按表 A.0.1 分类。

表 A.0.1 民用机场高填方工程填料分类

填料类别	分类粒组	填料亚类	亚类分类粒组	级配	岩石强度 f_r (MPa)	填料名称	填料代号
石料	粒径大于 60 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%	块石料	块石粒含量大于碎石粒含量	—	>30	硬岩块石料	A1
				—	5~30	软岩块石料	A2
				—	≤5	极软岩块石料	C1
		碎石料	块石粒含量不大于碎石粒含量	—	>30	硬岩碎石料	A3
				—	5~30	软岩碎石料	A4
				—	≤5	极软岩碎石料	C2
土石混合料	粒径大于 60 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，且粒径小于 2 mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%	石质混合料	粒径大于 5 mm 的颗粒质量超过总质量的 70%	—	>30	硬岩石质混合料	A5
				—	5~30	软岩石质混合料	A6
				—	≤5	极软岩石质混合料	C3
		砾质混合料	粒径大于 5 mm 的颗粒质量超过总质量的 30%，且不超过 70%	良好	>30	硬岩良好级配砾质混合料	A7
				不良		硬岩不良级配砾质混合料	B1
				良好	5~30	软岩良好级配砾质混合料	A8
				不良		软岩不良级配砾质混合料	B2
		—	≤5	极软岩砾质混合料	C4		
		土质混合料	粒径大于 5 mm 的颗粒质量不超过总质量的 30%	—	—	砂土混合料	A9
				—	—	粉土混合料	B3
—	—			黏性土混合料	C5		
土料	粒径小于 2 mm 的颗粒质量超过总质量的 50%	砂土料	砂粒含量大于细粒含量	—	—	砂土料	A10
		粉土料	砂粒含量不大于细粒含量	—	—	粉土料	B4
		黏性土料		—	—	黏性土料	C6
特殊土料	—	特殊土料	—	—	—	特殊土料	D

- 注：1 块石粒为粒径大于 200 mm，碎石粒为粒径大于 60 mm 且不大于 200 mm，砂粒为粒径大于 0.075 mm 且不大于 2 mm，细粒为粒径不大于 0.075 mm；
- 2 级配良好应同时满足 $C_u \geq 5$ ， $C_c = 1 \sim 3$ 两个条件，不能同时满足时为级配不良；
- 3 f_r 为饱和单轴抗压强度，当无法取得 f_r 时，可用点荷载试验强度换算，换算方法按《工程岩体分级标准》（GB 50218）执行；
- 4 粉土料和黏性土料以 I_p 划分， $I_p \leq 10$ 时命名为粉土料， $I_p > 10$ 时命名为黏性土料；
- 5 当土质混合料中的土料分别以砂土、粉土或黏性土为主时，土质混合料相应命名为砂土混合料、粉土混合料或黏性土混合料；
- 6 特殊土料包括膨胀土、红黏土、软土、冻土、盐渍土、污染土、有机质土、液限大于 50% 且塑性指数大于 26 的黏性土等；
- 7 代号 A1~A10 为 A 类填料，代号 B1~B4 为 B 类填料，代号 C1~C6 为 C 类填料，代号 D 为 D 类填料。

附录 B 石料和土石混合料颗粒分析试验方法

B.0.1 本试验适用于最大粒径不大于 800 mm 的石料和土石混合料试样。

B.0.2 石料和土石混合料的颗粒分析试验除应符合国家现行标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123) 外, 尚应符合本附录的规定。

B.0.3 主要仪器设备应符合下列要求:

- 1 粗筛: 圆孔, 孔径为 200 mm、100 mm、80 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm;
- 2 细筛: 圆孔, 孔径为 2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm;
- 3 台秤 (称量 5 000 kg, 感量 1 000 g; 称量 1 000 kg, 感量 200 g; 称量 100 kg, 感量 10 g)、天平 (称量 5 000 g, 感量 1 g; 称量 1 000 g, 感量 0.1 g; 称量 200 g, 感量 0.01 g);
- 4 振筛机: 筛析过程中应能上下振动;
- 5 其他: 钢卷尺、厚塑料布、大托盘、铲子、烘箱、编织袋、毛刷等。

B.0.4 试验要求和步骤应符合下列要求:

- 1 在试验点取样, 取样数量应符合表 B.0.4 的规定。

表 B.0.4 颗粒分析取样量

最大粒径 (mm)	最小取样量 (kg)
800	56.6×10^3
700	37.9×10^3
600	23.9×10^3
500	13.8×10^3
400	7.1×10^3
300	3.0×10^3
200	884
100	111
80	57
60	24

- 2 取样时, 手工挑出直径或边长大于 200 mm 的石料, 用毛刷刷净石料上的浮土; 用钢卷

尺量测其长边长度作为粒径，用台秤称其质量。

3 直径小于 200 mm 的试样过筛。地上平铺厚塑料布，手摇筛按孔径由小到大逐个叠放在塑料布上，将取出的试样逐级过筛，振摇，逐级称筛上试样质量。

4 把粒径小于 20 mm 的试样全部称重，用编织袋装好，带回实验室烘干，用标准筛依次筛分，逐级称筛上余料质量。粒径小于 2 mm 的试样质量小于试样总质量的 10% 时，不作细筛分析。

5 各级筛上试样与最后一级筛下试样质量之和与试样总质量的差值，不得大于试样总质量的 1.5%。

B.0.5 试验数据整理应符合下列要求：

- 1 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比（精确至 0.1%）

$$X = (m_A / m_B) \cdot d_x \quad (\text{B.0.5 - 1})$$

式中 X ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比（%）；

m_A ——小于某粒径的试样质量（kg）；

m_B ——细筛分析时为所取的试样质量；粗筛分析时为试样总质量（kg）；

d_x ——粒径小于 2 mm 的试样质量占试样总质量的百分比（%）。

2 以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比为纵坐标，颗粒粒径为横坐标，在单对数坐标上绘制颗粒大小分布曲线；

- 3 计算级配指标： C_u 和 C_c 。

$$C_u = d_{60} / d_{10} \quad (\text{B.0.5 - 2})$$

$$C_c = (d_{30} \times d_{30}) / (d_{60} \times d_{10}) \quad (\text{B.0.5 - 3})$$

式中 d_{60} ——颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的试样含量占总质量的 60%；

d_{10} ——颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的试样含量占总质量的 10%；

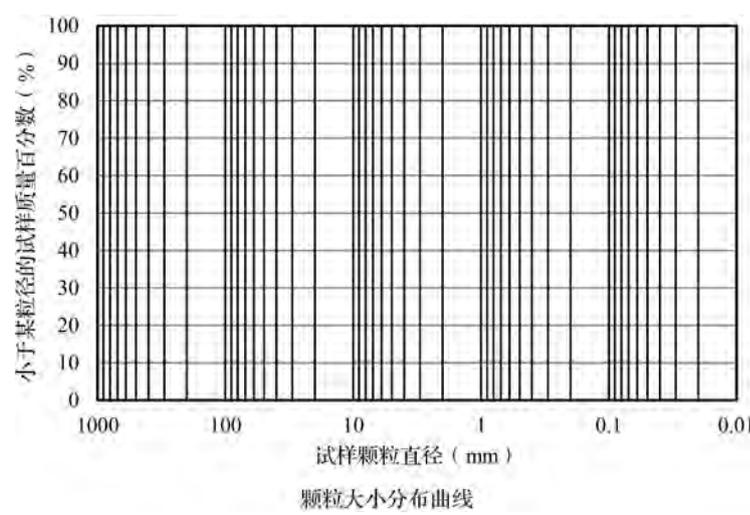
d_{30} ——颗粒大小分布曲线上的某粒径，小于该粒径的试样含量占总质量的 30%。

- 4 颗粒分析（筛分法）试验应按表 B.0.5 记录。

表 B.0.5 颗粒分析（筛分法）试验记录表

委托单位				检测单位		
工程名称				取样位置		
委托日期		检测日期		筛分曲线作图参数		
筛孔直径 (mm)	分计 筛余量 (g)	分计筛余 百分率 (%)	累计百分率 (%)	通过百分率 (%)	直径 (mm)	小于某粒径的试样质量 占试样总质量的百分数 (%)
800					800	

续表

700					700	
600					600	
500					500	
400					400	
300					300	
200					200	
100					100	
80					80	
60					60	
40					40	
20					20	
10					10	
5					5	
2					2	
1					1	
0.5					0.5	
0.25					0.25	
0.075					0.075	
<0.075						
$d_{60} =$ $d_{30} =$ $d_{10} =$ $C_u =$ $C_c =$						
试验人:					校核人:	

附录 C 施工期填料储量确定方法

C.0.1 土石方开挖后，应在现场验槽确认填料类别、界线。

【条文说明】山区机场挖方区填料类别、界线在勘察阶段很难完全正确确定，其难点在于：一是勘察是按一定间距布置勘探点线，勘探点线间的区域在地形、岩土性质复杂地区，可能变化很大；二是钻孔取芯观察、试验获取的岩土性质、类别可能与爆破开挖、机械开挖揭露岩土性质存在差异；三是人为因素，如对岩土认知程度存在差异等。

C.0.2 施工期填料储量宜按标段计算。

【条文说明】山区民用机场地形、地质条件复杂，在勘察阶段无法按标段来计算填料储量，只能按开挖山头计算；为了满足土石方调配和工程结算需要，施工期储量计算宜按标段进行。

C.0.3 断面法计算填料储量应符合下列规定：

- 1 布置近平行开挖断面，测量两条剖面上开挖基准线之上的某类填料在两断面面积值 S_1 、 S_2 和断面平均间距 L ；
- 2 两断面间距应不大于 50 m，地形、地质条件复杂时应缩小断面间距；
- 3 每个计算块段的计算断面应不少于 3 个；
- 4 根据式 (C.0.3-1) 和式 (C.0.3-2) 计算两断面间的该类填料的分段储量。汇总各分段该类填料的储量即为该类填料的总储量。

相邻两断面相似，断面面积相差 $(S_1 - S_2)/S_1 < 0.4$ 时，采用梯形公式计算：

$$Q_1 = (S_1 + S_2)L/2 \quad (\text{C.0.3-1})$$

相邻两断面相似，断面面积相差 $(S_1 - S_2)/S_1 \geq 0.4$ 时，采用截锥体公式计算：

$$Q_2 = (S_1 + \sqrt{S_1 \cdot S_2} + S_2)L/3 \quad (\text{C.0.3-2})$$

式中： Q_1 、 Q_2 ——相邻两断面之间某类填料的储量；

S_1 ——某类填料在相邻第一挖方断面上面积；

S_2 ——某类填料在相邻第二挖方断面上面积；

L ——断面平均间距。

【条文说明】西南地区地质条件复杂，几乎每一个机场均要根据施工实际情况调整土石比，对地势较为平坦地层变化较小区域一般 3 个剖面可满足计算精度需要；对地势起伏较大、地层变化大区域需要 5 个以上剖面方可满足精度要求。

C.0.4 三角形法计算填料储量应符合下列要求：

- 1 当开挖断面不规则时宜采用三角形法；
- 2 三角形边长以 50 m 为宜，地形起伏边界、土石分界处应布置三角形角点；
- 3 在平面上将某类填料厚度采集点联成三角网，三角形的面积乘以 3 个角点开挖基准线以上的该类填料平均厚度值，即为三角形中该类填料储量；
- 4 总和各三角形中该类填料的储量即为计算块段该类填料的总储量。

附录 D 地下水观测方法

D.1 施工期原地基地下水观测

D.1.1 施工期原地基地下水观测点应布置在下列位置：

- 1 场区内所有泉点和施工中揭露的泉点；
- 2 场区所在水文地质单元内主要泉点、民井、生产井等；
- 3 重点沟谷和填方关键地段的地下水位未出露区；
- 4 盲沟出水点。

D.1.2 施工期原地基地下水观测内容与频率应符合下列要求：

- 1 观测内容主要包括水位、水量、浑浊度，其次为水温、水质、流向和流速；
- 2 施工期观测频次宜为每天一次；
- 3 如原地基处理采用了某些化学材料，如生石灰，应进行地下水水质观测。

D.1.3 施工期原地基地下水观测设备及方法应符合下列要求：

- 1 原地基地下水位测量宜采用测盅、电接触悬锤式水尺等；
- 2 泉点和盲沟流量测定，可优先采用堰槽法、流速仪法，流量小时可用桶量；盲沟出水点水量观测宜采用混凝土矩形堰。

D.1.4 施工期原地基地下水水位观测精度应为：场区内 50 mm，场区外 20 mm。

D.2 施工期填筑体地下水观测

D.2.1 施工期填筑体地下水观测点布设应符合下列要求：

- 1 主观测线分布在填方高度最大、最有可能发生滑移的方向，次观测线在主观测线两侧；
- 2 当采用钻孔成井同步观测地下水时，观测点宜布置在已完工的马道上；
- 3 布置在填筑体内水平排水层、排水盲沟中下部；
- 4 土料与石料分层时布置在土料的顶部。

D.2.2 施工期填筑体地下水观测点布设密度应符合下列规定：

1 平面上沟谷方向主观测线上观测点宜按 100 m~200 m 间距布设,其他部位宜按 300 m~500 m 布设;

2 垂向上观测点分布宜与马道、水平排水层和盲沟对应,间距宜不大于 20 m。

D.2.3 施工期填筑体地下水观测设备与方法应符合下列要求:

1 填筑体中地下水位观测可采用压力式地下水位仪或钻孔观测。压力式地下水位仪宜随施工过程埋入填筑体中,孔中水位测量宜采用电接触悬锤式水尺和浮子式地下水位计;

2 施工期地下水观测应采用人工观测方法。

D.2.4 施工期填筑体地下水观测内容与频率应符合下列要求:

1 观测内容应包括水位、水量和浑浊度。

2 观测频率宜为:北方地区枯水期 10 d~15 d 一次,丰水期 3 d~7 d 一次;南方地区枯水期 3 d~5 d 一次,丰水期宜为 1 d~3 d 一次。

D.2.5 施工期填筑体地下水水位观测精度应为 30 mm。

D.3 土石方竣工后地下水观测

D.3.1 土石方竣工后地下水观测应符合下列规定:

1 根据土石方竣工后的地下水评价成果,按变形分析、评价的需要增设观测点和修复前期布置失效的观测点;

2 挖方区增设的观测点可采用送水钻进和无水钻进方式,填方区增设的观测点应优先采用无水钻进方式。钻孔直径宜为 108 mm~150 mm,应不大于 250 mm。

D.3.2 土石方竣工后地下水观测内容应包括水位、水量和浑浊度。

D.3.3 土石方竣工后地下水可采用人工观测或自动观测方法。

D.3.4 土石方竣工至填筑体上构(建)筑物完工投入营运前应对地下水进行全程观测。地下水观测间隔随时间推移逐渐增大,一般为 1 天、3 天、7 天、10 天、15 天、1 月、3 月、6 月。

D.3.5 土石方竣工后地下水水位观测精度应为 20 mm。

D.4 观测资料整理

D.4.1 地下水观测资料整理应遵循随监测、随记录、随整理、随分析的原则,实时提供地下水异常变化资料。

D.4.2 地下水观测月报资料应每月编制，阶段性资料应随工程进度编制，技术总结分析报告应在观测结束后编制。

附录 E 施工期填挖比试验方法

E.0.1 本试验适用于石料、土石混合料和土料。

E.0.2 每次试验应选择一种填料和一种压实工法。

E.0.3 试验步骤和要求应符合下列规定：

1 准备试验场地，其平面尺寸应符合下列规定：

- 1) 采用强夯工法压实时，试验场地平面尺寸宜不小于 80 m×80 m；
- 2) 采用冲击碾压工法压实时，试验场地平面尺寸宜不小于 200 m×10 m；
- 3) 采用振动碾压工法压实时，试验场地平面尺寸宜不小于 50 m×10 m。

2 测量试验场地原地面高程。

3 选定料源区，测量开挖前清除植物土的原地面高程。

4 检测料源区天然状态填料的干密度，检测 3 个点并取平均值。

5 爆破和开挖填料，将填料运输至填筑试验场地，测量填料含水率。

6 填筑和压实应符合下列规定：

1) 对于石料、石质混合料、砾质混合料，可采用强夯工法夯实。每层松铺厚度宜为 4.0 m，每层应分三个亚层堆填，填料最大粒径不得大于 0.8 m。按设计要求强夯能级夯实，并在最上一个强夯层满夯后振动碾压密实。总填筑厚度不宜少于 2 个夯实层。

2) 对于土石混合料，可采用冲击碾压工法压实。每层松铺厚度宜为 0.8 m，填料最大粒径不得大于压实层厚的 2/3，按设计要求压实。总填筑厚度不宜少于 3 个压实层。

3) 对于土质混合料、土料，可采用振动碾压工法压实。每层松铺厚度宜为 0.3 m，填料最大粒径不得大于压实层厚的 2/3，按设计要求压实。总填筑厚度不宜少于 3 个压实层。

4) 填筑体周边坡顶线至原地面宜按 1:2 放坡，并应留出一定施工安全距离不压实，强夯安全距离为距坡顶线 5 m，冲击碾压安全距离为距坡顶线 3 m，振动碾压安全距离为距坡顶线 1 m。

7 测量开挖后的料源区地面高程，计算用于填筑试验填料的天然体积。

8 测量填筑体高程，计算填筑体的未压实区域和压实区域的体积。未压实和压实区域的分界为填筑体顶面强夯夯坑最外侧轮廓连线或压路机最外侧轮迹的竖向投影。

9 检测填筑体未压实填料和压实填料的干密度，检测 3 个点并取平均值。石料、石质混合料和砾质混合料的检测方法应符合本规范附录 H 的规定。

10 高程测量应采用 1:200 比例尺地形图或 5 m×5 m 方格网。

E.0.4 应按下列方法计算施工现场试验的填挖比：

$$1:m = 1:\frac{v_o - \frac{v_s \rho_{ds}}{\rho_{do}}}{v_c} \quad (\text{E.0.4})$$

式中：1:m ——某类填料的施工试验填挖比；

v_o ——料源区填料的天然体积 (m^3)；

v_s ——未压实填料的体积 (m^3)；

ρ_{ds} ——未压实填料的干密度 (kg/m^3)；

ρ_{do} ——料源区填料的干密度 (kg/m^3)；

v_c ——压实填料的体积 (m^3)。

E.0.5 填挖比试验段总结报告应包括下列内容：

- 1 试验所采用的填料情况；
- 2 试验所采用的压实工法；
- 3 料源区填料、未压实填料和压实填料的干密度；
- 4 试验时填料的含水率；
- 5 填料为土料时的最大干密度和最佳含水率；
- 6 填料的填挖比。

附录 F 试验段总结报告内容要点

F.0.1 试验段总结报告宜包含下列内容：

- 1 试验任务和试验工作情况；
- 2 工程概况及工程地质条件；
- 3 试验研究方案；
- 4 试验施工、检测和监测成果；
- 5 试验成果综合分析。

F.0.2 试验段总结报告宜附下列资料：

- 1 附图
 - 1) 试验段平面位置图；
 - 2) 试验段原地基处理平面分区图；
 - 3) 试验段土石方填筑平面分区图；
 - 4) 试验段原地基处理工艺图；
 - 5) 试验段土石方填筑工艺图；
 - 6) 专项试验平面分区图；
 - 7) 专项试验工艺图；
 - 8) 原地基处理检测布置图；
 - 9) 土石方填筑检测布置图；
 - 10) 专项试验检测布置图；
 - 11) 试验段监测布置图；
 - 12) 其他需要的图表。
- 2 试验检测与监测成果资料
 - 1) 试验检测成果报告；
 - 2) 试验监测成果报告。

附录 G 强夯单点夯击试验方法

G.0.1 本试验方法适用于石料和土石混合料填筑地基强夯单点夯击能为 1 000 kN·m ~ 6 000 kN·m 的单点夯击试验。

G.0.2 主要仪器设备和材料应符合下列规定：

- 1 夯机应为配有自动脱钩装置的履带式起重机或其他专用设备；
- 2 夯锤质量 15 000 kg~25 000 kg，锤底静接地压力值 25 kPa~40 kPa；
- 3 其他仪器包括水准仪、水准尺、直径为 50 mm 的铸铁钢球。

G.0.3 观测点布置应符合下列规定：

- 1 夯坑底面土体变形可通过夯锤顶和底面高程及直径测量得出，夯锤顶面观测点应均匀对称设置，应不少于 3 个；
- 2 夯坑周围地表变形观测点以夯锤中心为原点，在相互垂直的二方向上设置。以夯锤边缘为起点，每方向上设置观测点应不少于 4 个，观测点间距宜为 0.5 倍夯锤直径；
- 3 用于后视基准点的基准桩应设置在强夯击震力影响区域外。

G.0.4 试验应符合下列规定：

- 1 每夯击一击后应立即测量夯锤顶面及夯坑周围地表观测点的变形量；
- 2 每夯两击应观测一次后视测量；
- 3 单点夯击完成后，需对坑底标高、坑口直径和坑底直径等进行现场实测，并对夯坑形态进行描述；
- 4 夯击次数视夯沉量而定，夯击能不大于 3 000 kN·m 时，宜夯至连续两击平均夯沉量不大于 50 mm，再继续夯击不少于 5 击；夯击能大于 3 000 kN·m 时，宜夯至连续两击平均夯沉量不大于 100 mm，再继续夯击不少于 5 击。

G.0.5 试验资料整理应符合下列规定：

- 1 夯坑下沉量按式 (G.0.5-1) 计算：

$$\Delta S_i = S_{i-1} - S_i \quad (\text{G.0.5-1})$$

式中： ΔS_i ——每夯一击的夯坑下沉量 (mm)；

S_i ——第 i 击后锤顶水准尺读数 (mm)；

S_{i-1} ——第 $i-1$ 击后锤顶水准尺读数 (mm)。

- 2 夯坑周围地表的变形量按式 (G.0.5-2) 计算：

$$\Delta L_i = L_{i-1} - L_i \quad (\text{G. 0.5} - 2)$$

式中: ΔL_i ——每夯一击的夯坑周围变形量 (mm);

L_i ——第 i 击后地面水准尺读数 (mm);

L_{i-1} ——第 $i - 1$ 击后地面水准尺读数 (mm)。

- 3 绘制夯击次数与夯坑及夯坑周围地表变形图。
- 4 绘制单点夯击次数与夯坑下沉量的关系曲线。
- 5 绘制夯击次数与累计夯坑下沉量百分数的关系曲线。

附录 H 固体体积率灌水法试验要点

H.0.1 主要仪器设备和材料应符合下列规定：

- 1 台秤：称量 100 kg，最小分度值 50 g；称量 1 000 kg，最小分度值 100 g；
- 2 囊式体积仪采用柔软和富有弹性的塑料薄膜袋，直径 0.5 m~2.5 m，厚度 0.5 mm，长度 0.5 m~2.5 m；
- 3 量测仪器：精密水准仪、水准尺、钢卷尺、坑口定位标准尺寸环等；
- 4 其他设备包括开挖试验坑的用具、厚度 5 mm~8 mm 堆放土样的铁板、储水箱（筒）及坑壁支撑材料等。

H.0.2 试验应进行两次平行测定，取两次测值的算术平均值。试验要求和步骤应符合下列规定：

- 1 试验处的试坑地面整平，除去表面松散的土层，测量其层面标高；
- 2 按试样最大粒径的 3 倍粒径尺寸确定试坑开挖的直径和深度，放置坑口定位环；
- 3 在坑口定位环内下挖至要求深度，边挖边将坑内的试样装入盛土容器内，称试样质量，准确到 0.1 kg，并测定试样的含水率；
- 4 开挖试坑时应将坑壁及坑底整平，对松动的碎石全部取出，并称取质量；
- 5 试坑开挖完成后，量测坑壁及坑底的情况，包括坑壁凹凸形态、试坑直径、坑底标高等；
- 6 将塑料薄膜袋轻轻放置坑内后，将已称取质量的水缓慢灌入塑料薄膜袋内，直至水面与坑口定位环面齐平，并对静止的水面观测 3 min 后，测量水面标高。计算试坑体积时，应扣除定位环的体积。当袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重新试验；
- 7 所有测试工作完成后，采用最大粒径不大于 100 mm 的级配碎石回填试坑，要求按每层 300 mm 的厚度进行分层填筑夯实。

H.0.3 试验数据整理应符合下列规定：

- 1 试样的湿密度按式（H.0.3-1）计算：

$$\rho_0 = m_0/v \quad (\text{H.0.3-1})$$

式中： ρ_0 ——石料和土石混合料的湿密度（kg/m³）；

m_0 ——试样总质量（kg）；

v ——试坑的体积（m³）。

- 2 试样的干密度按式（H.0.3-2）计算：

$$\rho_d = m_d/v \quad (\text{H. 0.3-2})$$

式中: ρ_d ——石料和土石混合料的干密度 (kg/m^3);

m_d ——试样干质量 (kg)。

3 绘制密度与深度关系曲线。

4 固体体积率应按式 (H. 0.3-3) 和式 (H. 0.3-4) 计算:

$$R_{sv} = (\rho_d/\rho_w)/G_{sm} \quad (\text{H. 0.3-3})$$

$$G_{sm} = 1/(P_1/G_{s1} + P_2/G_{s2}) \quad (\text{H. 0.3-4})$$

式中: R_{sv} ——石料和土石混合料的固体体积率 (%);

ρ_w ——试验温度时纯水的密度 (kg/m^3), 取 $1\,000\text{ kg}/\text{m}^3$;

G_{sm} ——平均土粒比重;

G_{s1} ——粒径大于、等于 5 mm 土颗粒的土粒比重;

G_{s2} ——粒径小于 5 mm 土颗粒的土粒比重;

P_1 ——粒径大于、等于 5 mm 土颗粒干质量占试样干质量的百分比 (%);

P_2 ——粒径小于 5 mm 土颗粒干质量占试样干质量的百分比 (%)。

5 土粒比重试验应符合《土工试验方法标准》(GB/T 50123) 的规定。

【条文说明】 固体体积率的概念为固相体积与土总体积的比值, 一般由试样的干密度和土粒比重计算。当试样中既有粒径大于 5 mm 的土颗粒, 又含有粒径小于 5 mm 的土颗粒时, 工程中采用平均土粒比重, 取粗细颗粒土粒比重的加权平均值计算。粗细颗粒的土粒比重试验方法不同, 包括比重瓶法、浮称法和虹吸筒法等。

标准用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待，对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”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 本规范中指定按其他有关标准、规范或其他有关规定执行时，写法为“应符合……的规定”或“应按……的规定执行”。非必须按所指定的标准、规范和其他规定执行时，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] 《民用机场岩土工程设计规范》(MH/T 5027)
- [2] 《民用机场勘测规范》(MH/T 5025)
- [3] 《建筑边坡工程技术规范》(GB 50330)
- [4] 《工程测量规范》(GB 50026)
- [5] 《民用机场飞行区技术标准》(MH 5001)
- [6] 《爆破安全规程》(GB 6722)
- [7] 《民用机场水泥混凝土道面设计规范》(MH/T 5004)
- [8] 《民用机场沥青混凝土道面设计规范》(MH 5010)
- [9] 《混凝土结构设计规范》(GB 50010)
- [10] 《工程岩体分级标准》(GB 50218)
- [11] 《土工试验方法标准》(GB/T 50123)