ICS：93.010

CCS：P10

团　体　标　准

T/CECAS　20XXX-202X

安哥拉红砂地区地基基础技术标准

Technical standards for foundation engineering

in the Red Sand Region of the Republic of Angola

（征求意见稿）

中国勘察设计协会

2026-××-××　发布　　2027-××-××　实施

中国勘察设计协会　发布

前 言

根据中国勘察设计协会《关于印发中国勘察设计协会2024年团体标准制修订项目工作计划的通知》（中设协字〔2024〕45号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，制定本规程。

本规程共分9章2个附录，主要内容包括：总则、术语和符号、基本规定、勘察、设计、地基处理、施工、质量检验、运营维护。

本标准由中国勘察设计协会工程勘察分会负责管理，由 xxx 负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见和建议，请寄送 xxx（地址：xxx ，邮编：xxx）。

本规程主编单位：

本规程参编单位：

本规程主要起草人：

本规程主要审查人：

中国勘察设计协会

目　次

1 总则.....1

2 术语和符号.....4

2.1 术语.....4

2.2 符号.....8

3 基本规定.....10

4 勘察.....16

4.1 一般规定.....16

4.2 工程地质环境调查.....18

4.3 勘察工作布置.....19

4.4 现场试验.....23

4.5 室内试验.....25

4.6 红砂的评价.....27

5 设计.....36

5.1 一般规定.....36

5.2 地基基础设计.....38

5.3 桩基设计.....44

6 地基处理.....47

6.1 一般规定.....47

6.2 换填垫层法.....48

6.3 强夯法.....51

7 施工.....55

7.1 一般规定.....55

7.2 地基处理和桩基施工.....57

7.3 其它施工.....62

8 质量检验.....63

8.1 一般规定.....63

8.2 处理地基质量检验.....65

8.3 桩基质量检验.....66

中国勘察设计协会

9 运营维护.....71
9.1 一般规定.....71
9.2 维护与检修.....71
9.3 沉降观测.....73
9.4 地下水位监测.....74
附录 A 浸水条件的标准贯入试验要点.....75
附录 B 现场试坑浸水试验要点.....77
本标准用词说明.....78
引用标准名录.....79
附：条文说明.....80

中国勘察设计协会

Contents

1 General Provisions 1
2 Terms and Symbols 4
2.1 Terms 4
2.2 Symbols 8
3 Basic Requirements 10
4 Geotechnical Investigation 16
4.1 General Requirements 16
4.2 Investigation of Engineering Geology and Site Conditions 18
4.3 Layout of Exploration 19
4.4 Field Test 23
4.5 Laboratory Test 25
4.6 Evaluation of Red Sand 27
5 Design 36
5.1 General Requirements 36
5.2 Foundation Design 38
5.3 Pile Foundation 44
6 Ground Treatment 47
6.1 General Requirements 47
6.2 Replacement Layer of Compacted Fill 48
6.3 Dynamic Compaction 51
7 Construction 55
7.1 General Requirements 55
7.2 Construction of Ground Treatment and Pile Foundation 57
7.3 Other Constructions 62
8 Quality Inspection 63
8.1 General Requirements 63
8.2 Inspection of Artificial Foundation 65
8.3 Inspection of Pile Foundation 66

中国勘察设计协会

9 Maintenance during Operation 71
9.1 General Requirements 71
9.2 Maintenance and Overhaul 71
9.3 Settlement Observation 73
9.4 Groundwater Monitoring 74
Appendix A: Key Points for SPT under Soaking Conditions 75
Appendix B: Key Points of Field Soaking Test 77
Explanation of Wording in This Standard 78
List of Quoted Standards 79
Addition：Explanation of Provisions 80

中国勘察设计协会

1 总则

1.0.1 为保障非洲安哥拉共和国红砂地区建构筑物的安全与正常使用，做到技术先进、经济合理、保护环境、节约能源，制定本标准。

【条文说明】 红砂在天然低含水状态下，通常表现出高承载力与高压缩模量的优良工程特性，其自然边坡往往近乎直立，稳定性较好。然而一旦遇水浸湿，含水率增加，其工程性质会发生显著劣化，表现为承载力急剧下降，并伴随软化、湿陷、易崩解及抗冲刷能力（抗蚀性和抗冲性）差等一系列特殊工程问题。

在红砂地区进行工程建设时，若仅依据其天然状态下的良好性质进行评价与设计，极易忽视其遇水后的潜在风险，导致地基处理措施不足，为工程安全埋下严重隐患。

为避免此类问题，确保在安哥拉红砂地区进行的建筑与市政基础设施工程建设能够充分考虑其特殊的工程地质特性，有效防止地基因软化、湿陷等作用而发生破坏，从而保证建筑工程的质量与设施的长期安全使用，并贯彻技术先进、经济合理、保护环境、节约能源的原则，特制定本标准。

全球范围内存在十余处地名为“安哥拉”的区域，但本标准所述“安哥拉”特指非洲西南部的安哥拉共和国（The Republic of Angola），其首都为罗安达。

1.0.2 本标准适用于非洲安哥拉共和国红砂地区建构筑物地基基础工程的勘察、设计、施工、检验、使用与维护。

【条文说明】 安哥拉红砂作为一种特殊性岩土，主要分布于罗安达省、本戈省、扎伊尔省、卡宾达省、库内内省等区域，通常呈披覆状沉积于不同成因的地层之上，其工程特性具有显著地域性。鉴于该类土体遇水易软化、湿陷等特性，对工程建设构成特定风险，本标准旨在为安哥拉红砂地区的建筑工程提供针对性技术依据。

本标准适用的工程范围涵盖交通、电力、能源、水利、农业等行业，涉及建筑物地基基础工程的全生命周期活动，包括勘察（主要是详细勘察，其他阶段勘察可参考本标准理念布置工作）、设计、施工、检验、使用与维护等环节。

此外，非洲其他赤道两侧国家（如坦桑尼亚、贝宁、科特迪瓦、莫桑比克、津巴布韦等）亦存在工程性质相似的红砂层。对于此类地区的类似工程，可参考本标准执行，但需结合当地地质条件进行适用性验证，确保技术措施的可靠性与安全性。

1.0.3 安哥拉红砂地区建筑工程的建设与运维，除应符合本标准外，尚应符合现

中国勘察设计协会

行国家相关标准。

【条文说明】 本标准是在长达十余年的系统性科学研究与大规模工程实践验证基础上编制而成。科研项目包括科技部对发展中国家科技伙伴项目（编号 KY201502002）、国机集团科技发展基金项目（编号 SINOMACH 11 科 90-16 号）及中信建设有限责任公司横向项目等，相关研究主要依托安哥拉罗安达社会住房 Kilamba Kiaxi 项目建设开展。Kilamba Kiaxi 项目位于罗安达 Kilamba 新城，工程用地面积约 8.8km^2，共包括 24 个地块，总建筑面积约为 330 万 m^2，包括 710 栋公寓楼（含 20,002 套公寓式住宅及 246 个底商单元）、24 座幼儿园、9 座小学、8 座中学、2 座高压电站、13 座开闭站、77 座变电所等基础设施，区内大、小市政配套设施包括主干路、次干路、支路约 400km，市政给水及中水管线约 32km，雨水管沟及明渠约 80km，污水管线约 32km 及电力系统、通讯系统、交通信号系统、公园绿化工程等。

标准编制过程中，充分充分考虑了中国现行国家（含建筑行业）标准的框架与技术要求，力求实现良好的兼容性。然而，鉴于国际工程项目中可能涉及的多样化技术需求，本标准也试图和下列标准、手册实现协调：

1.材料试验：ASTM（美国材料与试验协会）标准，AASHTO（美国国家公路与运输官员协会）标准，BS1377（英国土工试验方法）系列标准，EN ISO17892（欧洲土工试验标准）系列标准。

2.勘察：ASTM 标准，ASCE（美国土木工程师协会技术）手册，EN1997（欧洲岩土工程设计）系列标准，EN22476（欧洲土工勘察与现场试验）系列标准，FHWA（美国联邦公路管理局）标准，UFC (美国统一设施)标准。

3.地基基桩测试：ASTM 标准、EN ISO22477（欧洲桩基试验）系列标准。

4.地基处理：ASCE 手册、EN16907（欧洲土方工程施工）系列标准。

5.抗震：ASCE 标准、EN1998-5（欧洲结构抗震设计规范基础部分）。

尽管本标准已尽可能与国外相关标准保持协调，但在具体应用时，仍可能存在技术指标或规定要求的差异。当合同约定采用国外标准（如上述 ASTM、EN、BS 等）时，若与本标准存在不一致，应遵循以下处理原则：

1. 合同优先原则：在国际工程合同明确约定采用特定国外标准的情况下，合同约定的技术标准具有优先执行力。本标准可作为补充技术参考，用于验证和校核合同标准的适用性与安全性。

2. 等效性评估原则：当本标准与合同约定的国外标准在技术要求上存在差异时，应组织

中国勘察设计协会

技术专家对两种标准的技术指标进行等效性评估。若经评估确认两者在安全度、耐久性及功能性能上具有同等效力，可按较高标准或经论证可行的标准执行。

3. 差异协调机制：对于关键性技术指标（如地基承载力、桩基检测、抗震设防等）的显著差异，应启动技术协调程序，通过编制技术备忘录、召开专家论证会或提交争议评审委员会等方式进行协商，确保工程质量和结构安全满足各方要求。

4. 本地化适应原则：在尊重合同约定的前提下，应充分考虑安哥拉红砂土体的特殊工程性质，优先采用针对本地地质条件经过验证的有效技术措施，避免机械套用技术标准导致工程风险。

中国勘察设计协会

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 红砂 red sand

分布于安哥拉共和国及非洲大陆中南部一种特殊性土。形成于第四纪，由砂粒、粉粒和黏粒组成，呈红色、棕红或黄色，具有遇水浸润后发生软化、湿陷的显著特性。岩性通常为粉砂土，在本标准中简称“安哥拉红砂”。

【条文说明】 中国《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 规定“粒径大于 2mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土”定名为砂土，美国《土的统一分类标准》ASTM D2487-17（2025）则把“粒径大于 4.75mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，粒径大于 0.075mm 的颗粒质量超过总质量 50% 的土”定名为砂土。红砂字面意思为红色砂土，但本标准将“红砂”赋予特殊意义，与黄土、红黏土并列，将其归类为具有特殊工程性质的土类，本标准针对的“红砂”具有遇水后发生湿陷和软化的特殊性。典型的红砂因其包含三氧化二铁而呈现红色，但非洲一些黄色砂土也具有遇水湿陷和软化的特殊性质，是广义的红砂。

按中国《土的工程分类标准》GB/T 50145-2007，砂粒、粉粒和黏粒分别指粒径 0.075mm ~ 2mm、0.005mm ~ 0.075mm 和 ≤ 0.005mm 的颗粒，《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 规定粒径大于 0.25mm 的颗粒质量不超过总质量的 50%，大于 0.075mm 的颗粒质量占总质量 50% ~ 85%的砂土成为粉砂。定义红砂为由砂粒、粉粒和黏粒组成的粉砂，主要同中国分类标准相匹配。而 ASTM D2487-17（2025）中砂粒指粒径为 0.075mm ~ 4.75mm 颗粒，粉粒和黏粒为小于 0.075mm，塑性指数分别为 < 4 和 ≥ 4 的土，粒径在 0.075mm ~ 0.475mm 之间的颗粒质量超过总质量 12%的砂土称为细粒土质砂（Sands with Fines）。本标准对红砂的定义在主要与中国标准匹配的同时，也与 ASTM（美国材料与试验协会）标准相匹配，安哥拉首都罗安达地区按 ASTM D2487-17（2025）可进一步划分为黏土质砂或者粉土质砂，相应符号分别为 SC 和 SM，更概括的话，可采用双符号 SM-SC 表示。

强调红砂的颗粒组成，主要因为黏粒的存在是导致红砂特殊性质的原因，安哥拉首都罗安达红砂矿物成分试验结果显示砂土中石英含量约占 90%，高岭土约占 5%，长石或铁矿物含量小于 5%，微观结构分析结果显示骨架颗粒为石英，磨圆度好，小于 0.005mm 的黏粒物

中国勘察设计协会

质含量虽然较少（一般在 10%以下），但这些微细物质粘附在颗粒表面或聚集在颗粒接触处，当含水率小时细颗粒在吸力作用下起到胶结作用，但当含水率增大后不但起不到胶结作用，还起到润滑作用，是导致红砂特殊性质的主要原因。

红砂在安哥拉多个省份分布。在罗安达及周边地区，红砂的分布区域如图 1，其在已有文献中被称为 Quelo（盖路）或 Muceque（穆赛格）砂，具有特定的地层学与民俗学称谓。如图 2 为图 2 的 A-A’ 剖面，在岩石地层学分类中，覆盖于罗安达组（Luanda Formation，泥岩和砂岩）等新近系地层之上的浅表红色及杂色砂层，被定义为盖路组（Quelo Formation）。因此，“盖路砂”特指罗安达地区的红砂。“穆赛格砂（Muceque sand）”则是当地对红砂的俗称，该名称源于经济欠发达区域，因道路和空地缺乏硬化覆盖，裸露的红砂在视觉上呈现出一片赤红称为 Muceque，故而得名。此外，Quelo 组下部的杂色砂层（俗称“花斑土”，图 5 层中的②$_2$ 层）已不具备本标准所述典型红砂的性质，Quelo 组上部土层（图 5 层中的①和②$_2$ 层））才是本标准所述的红砂。

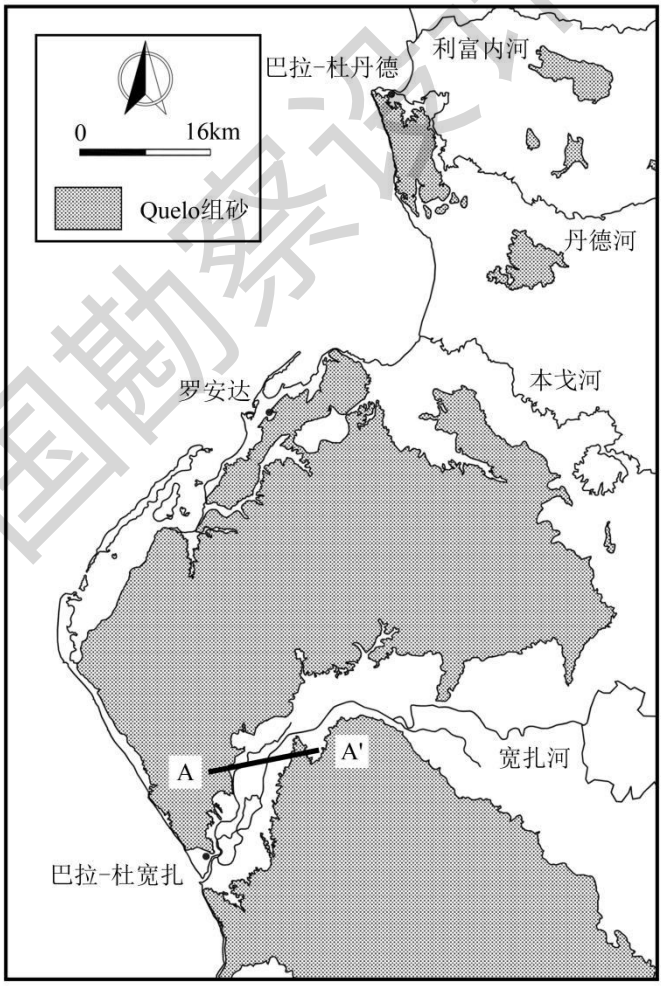


图 1 罗安达及周边地区 Quelo 砂分布范围

中国勘察设计协会

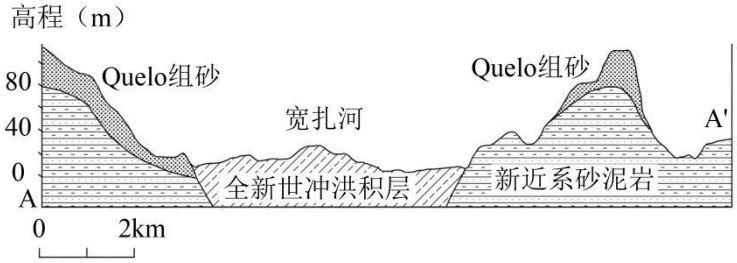


图 2 罗安达 Quelo 砂地层代表性剖面

Quelo 砂在已有文献中被认为第四纪更新世的海相沉积物，最初由中、细砂组成，在后来陆地环境下发生重塑和红土化作用，产生出由高岭土、伊利石和氧化铁（赤铁矿和针铁矿）等组成的黏土矿物成分，其中氧化铁是其呈现棕红色的原因，有时还会形成铁质结核。砂和粉土颗粒的矿物成分相同，以石英和长石为主（Horta da Silva 1965，1970）。在这种沉积物中未发现任何类型的沉积结构，只是偶尔能够观察到微弱的层理，也可发现旧石器时代人类活动的遗迹。

2.1.2 水敏性 water sensitivity

红砂在含水率增加时，其微观结构发生改变，导致强度、模量等物理力学性质发生显著变化的特性。

【条文说明】 水敏性的本质在于岩土体内部吸力的丧失，红砂的水敏性通常表现为崩解、软化和湿陷，即浸水后迅速解体、强度急剧下降和产生附加沉降。红砂具易湿陷的不稳定结构，干燥时，孔隙中的水在表面张力的作用下，收缩在砂和粉土颗粒的表面形成薄膜，在颗粒间的接触点上形成弯液面。随着干燥的继续，弯液面减小牵引包裹在颗粒周围的部分黏土颗粒，彼此间形成联接。在干燥时这种颗粒间联结较为牢固，但一旦遇水浸湿后（如在雨季时）则变得脆弱，遇水后颗粒间的联结力减弱，导致抗剪强度显著下降，当含水率增大到一定程度，结构迅速破坏，发生软化或承载力大幅降低后的湿陷变形。因此红砂具有一个相对开放的亚稳结构，靠颗粒间脆弱的联结支撑，一旦这种内部联结断裂将导致其发生破坏（Horta da Silva 1970, 1971）。

2.1.3 水力侵蚀 water erosion

土壤及其母质或其它地面组成物质在降雨、径流等水体作用下，发生破坏、剥蚀、搬运和沉积的过程，包括面蚀、 沟蚀等。也简称水蚀。

【条文说明】 本定义参考《水土保持术语》GB/T 20465-2006。水力侵蚀是土壤侵蚀众多形式中的一种，是目前世界上分布最广、危害也最为普遍的一种土壤侵蚀类型。陆地表面除沙

中国勘察设计协会

漠和永冻的极地地区外，当地表失去覆盖物时，都有可能发生不同程度的水力侵蚀。常见的水力侵蚀形式主要有雨滴击溅侵蚀、层状面蚀、砂砾化面蚀、鳞片状面蚀、细沟状面蚀、沟蚀、山洪侵蚀、库岸波浪侵蚀和海岸侵蚀等。农业领域，水力侵蚀会直接冲走富含有机质的表层土壤，导致土地退化、肥力下降，严重威胁耕地质量和农作物产量。本标准重点关注由红砂水蚀引发的地质灾害:红砂在饱水状态下黏聚力显著降低,抗侵蚀能力弱,易发生失稳。在安哥拉雨季，暴雨及地表径流对裸露的红砂坡面进行冲刷，极易形成地表沟蚀；同时，地下管线渗漏等人为因素亦可诱发红砂的潜蚀与冲蚀。红砂水蚀是一个渐进发展的过程，长期作用下会掏空地基基础，导致基础失稳；亦或者切割坡面，破坏边坡的整体性，形成由于水流集中冲刷导致的深切沟槽，发生坍塌或者滑坡。因此，红砂水蚀是一种具有长期性、渐进性和隐蔽性的地质灾害，在工程建设中应予以充分重视。

2.1.4 浸水载荷试验 soaking loading test

在浸水条件下，对岩土体或桩基施加竖向荷载，以测定其承载能力、变形特性及稳定性指标的原位试验。

【条文说明】 本标准中浸水载荷试验主要包括浸水平板载荷试验和单桩竖向抗压（拔）浸水载荷试验，预定浸水条件通常为模拟地基土发生显著软化的持续浸水工况。浸水载荷可用于测定持续浸水条件下的红砂承载力、变形模量、湿陷量（浸水附加沉降），以及桩基的侧阻力及承载力特征值。研究表明,试验条件下的持续浸水,通常并不能使得红砂土达到饱和,实测饱和度一般 50%～60%，但红砂在此饱和度条件下力学性能和完全饱和差别已不大。

2.1.5 先湿法试验 wetting-before-loading test

在现场浸水载荷试验中，先对试验场地或试桩周围土体进行浸水，再施加竖向荷载的试验。

2.1.6 后湿法试验 wetting-after-loading test

在现场浸水载荷试验中，先对岩土体或工程结构施加竖向荷载，待其变形稳定后，再进行浸水并观测其附加变形或承载力变化的试验。

2.1.7 双线法湿陷试验

在室内固结试验中，采用两个物理性质（密度、含水率等）基本一致的原状土样，分别进行天然和饱和工况的压缩试验以测定土体湿陷特性的试验。

【条文说明】 双线法湿陷试验引自中国《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018，试验需两个物理性质基本一致的原状土样，其中一个试样在天然湿度下分级加载至规定压力，测定各级压力下的压缩变形，在最后一级压力压缩稳定后浸水；另一个试样在施加第一级压力

中国勘察设计协会

后浸水，待湿陷稳定后分级加载。通过对比两条压缩曲线在同一压力下的变形差，计算土体的湿陷系数、湿陷起始压力等指标。

关于室内湿陷试验，中国 GB 50025-2018 标准有单线法和双线法之分，美国《Standard Test Methods for One-Dimensional Swell or Collapse of Soils》ASTM D4546-21 有试验方法 B 和 C 之分。单线法和试验方法 B 相同，均为先加载至试验压力，沉降稳定后浸水，附加沉降稳定后均不再继续加载。但试验方法 C 和双线法不同，试验方法 C 在 B 基础上继续加压，和“后湿法试验”类似，这种方法用于评估已经发生过湿陷的地基，在后续承受新建筑荷载时的沉降特性。

2.1.8 现场试坑浸水试验 field soaking test

在工程现场开挖特定尺寸的试坑（通常为圆形或方形），向坑内注水并保持恒定水头，使水分在重力和毛细力作用下垂直下渗，用以评价地基土自重湿陷变形特性的原位试验。

【条文说明】 现场试坑浸水试验是《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018 中规定的原位测试方法，主要用于实测自重湿陷性黄土场地的自重湿陷量实测值及自重湿陷下限深度。除此之外，还有一些附加应用：试验过程中保持坑内水层厚度恒定，记录单位时间内的渗入水量，待渗流量达到稳定状态，可依据达西定律计算得垂向渗透系数；也可在土体内埋设土壤水分计，以水分入渗进程与分布特性。

对于渗透性较差的黄土层，为加速饱和过程，可在坑底设置渗水孔并回填砂砾；而对于渗透性良好的红砂地层，则无需设置渗水孔。

2.2 符号

2.2.1 抗力和材料性能

c_k—固结快剪试验获取的黏聚力；

f_{ak}—地基承载力特征值；

k—土的饱和渗透速度；

w—含水率；

w_{op}—最优含水率；

γ_m—土的重度；

δ_s—湿陷系数；

中国勘察设计协会

ρ_d—干密度；

φ_k—固结快剪试验获取的内摩擦角。

2.2.2 计算参数

$P_{0.075}$—小于 0.075mm 颗粒质量占总质量的百分比；

Q—注水总量；

v—入渗速度；

2.2.3 几何参数

b—条形或矩形基础底面的宽度;

d—钻孔/载荷板直径；

H—沟蚀深度；

z—基础底面至处理土层底面的距离。

中国勘察设计协会

3 基本规定

3.0.1 红砂土应综合宏观特征、颗粒组成、水理性质进行判定，并应符合以下规定：

1 颜色应呈棕红色、红色或黄色；天然低含水率状态下，应能形成并维持天然陡边坡，原状土样应能形成团块具备胶结特征，但胶结强度低，手捻即碎；团块浸水后会迅速崩塌解体；

2 粒径小于 0.075mm 的颗粒质量应占总质量的 15%～50%；

3 天然低含水状态下的承载力与持续浸水状态下的承载力之差应超过 70kPa 且具有湿陷性。

【条文说明】 本条规定了红砂土的判定标准。红砂土是一种具有特殊工程地质性质的区域性土，其判定需综合考虑其独特的宏观特征、颗粒组成和水理性质。

1.宏观特征。本款明确了红砂土的视觉和物理状态特征。颜色：通常呈红色，源于其中包含氧化铁矿物。结构性与胶结性：红砂土在天然低含水率状态下，颗粒间存在一定的胶结作用（通常泥质胶结），使其具备一定的结构强度。这种强度足以使其形成并维持天然陡边坡，采样时也表现为团块状。然而，这种胶结强度普遍较低，用手即可捻碎。水敏性：红砂土遇水后胶结作用迅速减弱或丧失，导致土体结构崩塌、解体，表现出显著的崩解特性。这是其工程性质恶化的关键诱因。

2.颗粒组成。红砂土按中国《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001 属于粉砂，按美国《土的统一分类标准》ASTM D2487-17 属于细粒土质砂。

3.水理性质与力学特性。承载力剧降：红砂土在天然低含水状态下，因胶结作用的存在，往往表现出较高的承载力。但一旦浸水，其结构迅速破坏，承载力会大幅下降。规定两者之差超过 70kPa，是基于现场试验，天然含水状态的红砂承载力特征值普遍高于 200kPa，但浸水后普遍低于 130kPa。湿陷性：红砂土在 200kPa 压力下，有土样或者载荷试验在浸水后发生显著附加沉降，即室内试验湿陷系数不小于 0.015，或者载荷试验附加湿陷量与承压板宽度（直径）之比不小于 0.023。

红砂土与普通砂土的特征对比见表 1。

中国勘察设计协会

表 1 红砂土与普通砂土特征对比表

对比项目	红砂土	普通砂土
颜色特征	呈棕红色、红色或黄色（富含氧化铁）	多呈灰白、浅黄、青灰色（取决于矿物成分）
颗粒组成	粒径<0.075mm 颗粒含量 15%～50%（含一定量细颗粒）	粒径<0.075mm 颗粒含量通常 <15%（洁净砂）
结构与胶结	胶结，有结构性；天然状态下能维持陡边坡；手捻易碎	松散，无结构性；天然休止角小，无法维持陡边坡
水理性质	强崩解性：浸水后迅速崩塌解体	无崩解性：本身即为散体，浸水后是分散不是解体
	湿陷性：遇水产生附加沉降	无湿陷性：通常遇水不产生显著附加沉降
承载力特征	变异性极大：天然状态下较高，浸水后急剧下降	相对稳定：受含水率影响较小，干湿状态下承载力变化不明显
工程判定	需综合颜色、胶结、水敏性及颗粒级配综合判定	主要依据颗粒级配（粒度）判定

3.0.2 红砂场地的勘察工作应查明红砂的水敏性，分别对天然和持续浸水后含水状态的工程性质进行评价。勘察工作除符合本标准规定外，还应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021 的规定，其中湿陷性试验应符合《土工试验方法标准》GB/T50123、《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的规定。

【条文说明】 红砂遇水后强度骤降、发生软化和湿陷的特性，是红砂场地工程建设必须应对的核心地质风险。相关研究及工程实践已充分证实了这一问题的严重性。

Novais-Ferreira 和 C. da Silva (1961) 通过平板载荷试验表明，Quelo 砂在天然状态下可承受高达 800kPa 的荷载且沉降较小；但一旦浸水饱和，粒间联结断裂，即使在小荷载下也会产生剧烈沉降，其地基允许承载力可从天然状态下的 200kPa～300kPa 锐减至饱和状态下的 60kPa～100kPa。

Kilamba Kiaxi 项目的现场浅层平板载荷试验显示，红砂在天然含水率（4.6%~5.6%）下，承载力特征值为 230kPa～250kPa，变形模量为 26MPa～62MPa；持续浸水后，含水率增至 11.1%～14.4%，承载力特征值降至 100kPa～125kPa，变形模量仅为 7MPa～16MPa。室内试验同样表明，其压缩模量从天然状态的 14MPa～30MPa 骤降至饱和状态的 3MPa～4MPa。天然状态下的变形模量和压缩模量分别是浸水饱和状态下的 1.6～9.1 倍和 3.6～10.2 倍，软化效应极为显著。直剪（固快）试验结果也显示，天然含水率下黏聚力为 20kPa～80kPa，内摩擦角为 30°～41°，但在含水率增加到 13%后，黏聚力趋于 0kPa，内摩擦角为 26°～30°。对场地 1m~18m 深度范围内 1248 组试验数据的统计分析表明，在 200kPa 压力下，约

中国勘察设计协会

48%的土样湿陷系数达到或超过 0.015，显示出显著的湿陷性。

因此，勘察工作不能仅满足于查明天然状态下的物理力学指标，必须分别对天然状态和持续浸水饱和状态下的工程性质进行系统评价。这包括通过室内试验（如浸水剪切、浸水压缩）和现场试验（如浸水载荷试验），获取其在两种状态下的承载力、抗剪强度、变形参数等，为地基基础设计、防水措施制定以及施工期间的风险防控提供直接、可靠的依据。

关于湿陷性试验，《土工试验方法标准》GB/T50123、《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 和《岩土工程勘察规范》GB50021 都有较成熟的室内和现场试验方法。尤其是《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025，虽然主要针对黄土，但其关于湿陷性评价的整套方法，包括室内压缩试验测定湿陷系数、自重湿陷系数，以及现场浸水载荷试验等，是目前国内最为系统和成熟的湿陷性评价技术体系。鉴于红砂土与湿陷性黄土在遇水变形特性上的相似性，参照该标准结合本标准的规定进行湿陷性试验，能够确保试验结果的科学性和工程适用性。

3.0.3 红砂土承载力特征值和桩极限侧阻力标准值的确定，应以浸水饱和状态的测试指标为依据；当有充分依据确认红砂土地基长期处于干燥环境、无受水增湿可能时，可以天然状态的测试指标为依据，但应以雨季含水状态为基准调整。

【条文说明】红砂的力学特性与含水率呈显著负相关。承载力特征值的确定原则上应以浸水饱和状态下的测试指标为依据。这主要是考虑到红砂土渗透性较好，水易于向下迁移，且其下伏岩土层渗透性往往较差，容易形成上层滞水，导致地基在运营期间受水浸湿甚至饱和的可能性较大。此外，红砂力学性质在低含水率时对水分变化极为敏感，采用饱和状态指标进行设计是保障工程安全的稳妥做法。

工程实践显示雨季与旱季浅层红砂的含水率存在差异，雨季含水率一般在 6%～7%左右。当有充分依据确认地基长期处于干燥环境，不受生活用水、绿化灌溉或地下水上升等外来水源影响时，可依据天然状态指标进行设计，但应以雨季的含水状态为基准对承载力及原位测试指标进行合理调整，以兼顾安全性与经济性。

3.0.4 红砂场地的地基基础设计应针对红砂水敏性强、抗冲蚀性弱的特点，采取有效的地基处理、防水和结构措施。设计工作除符合本标准规定外，还应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《建筑桩基技术规范》JGJ 94 等的有关规定。

【条文说明】 本条规定了红砂场地地基基础设计的基本原则和核心内容。红砂土的工程特性决定了其地基基础设计不能沿用常规方法，应以“处理”为核心，“防水”“结构”为保

中国勘察设计协会

障，形成一套综合性的设计策略。

设计重点：应对水敏性与弱抗冲蚀性。红砂土遇水后强度急剧衰减、产生湿陷变形的特性，是地基基础设计面临的首要挑战。设计必须基于勘察提供的天然状态与浸水状态下的土性参数，充分考虑最不利工况（通常是地基土饱水）下的承载力和变形问题。与此同时，红砂土结构松散，颗粒间胶结力弱，在水流（如地表径流、管道渗漏）作用下极易发生冲刷和潜蚀，导致地基土流失、形成空洞，进而引发上部结构不均匀沉降甚至失稳。因此，设计必须考虑如何防止水流对地基土的侵蚀。

为应对上述两大核心问题，设计工作应围绕以下三个方面展开：

地基处理措施：目的是改善红砂土的不良工程性质，提高其承载力和水稳性。常用的处理方法包括换填垫层法、强夯法等。通过换填水稳性好的材料、密实土体，从根本上消除或减弱红砂土的水敏性影响。

防水措施：目的是切断水源，减小水浸入地基的可能或程度。设计应包括场地竖向设计（确保排水通畅）、建筑防水设计（散水、防水沟）、地下结构防水以及管道防渗漏等，形成全方位的防水体系。

结构措施：目的是增强上部结构对地基不均匀变形的适应能力，作为最后一道安全防线。设计可包括增强基础刚度（如采用筏板基础、加强拉梁）、合理设置沉降缝、加强上部结构整体性（如设置圈梁、构造柱）等，以减小不均匀沉降对上部结构的不利影响。

3.0.5 红砂场地存在白蚁危害时，应在工程设计与施工中采取物理或化学屏障措施，进行系统性防治。防治工作除符合本标准规定外，还应符合现行行业标准《房屋白蚁防治技术标准》JGJ/T 245 等的有关规定。

【条文说明】 除浸水软化、湿陷及冲蚀外，白蚁危害是安哥拉红砂地区另一重要的工程地质风险。撒哈拉以南非洲是全球白蚁多样性与生态作用最核心的区域之一，安哥拉红砂地区白蚁分布广泛，其筑巢活动对工程结构构成严重威胁。

白蚁活动特征与危害：

筑巢习性：本地白蚁主要分为两类。一类为“进化型”，其蚁巢在地表形成显著的大型土丘，内部呈蜂窝状，表面密布蚁道；另一类为“隐蔽型”，地表无明显标志，主巢位于地下 20~50cm 处，难以察觉。单个蚁巢通常呈椭球形，直径 3~cm，并通过蚁路连接地表与地下。

工程危害：白蚁在土体中构建复杂的巢穴与通道系统，会破坏地基土的结构完整性。同时，它们会蛀蚀建筑物的木质构件以及埋地电缆等设施，分泌的蚁酸能腐蚀混凝土、橡胶制

中国勘察设计协会

品、木质结构等，且其活动具有隐蔽性，往往在造成严重破坏后才被发现。

防治措施选择:

物理屏障:利用特定粒径的砂粒、不锈钢网或抗白蚁塑料膜等物理材料,在建筑物基础、墙体、管道周围构建一道连续的、白蚁无法穿透的屏障。例如，在地基下铺设特定规格的砂粒或不锈钢网，能有效阻止白蚁入侵。

化学屏障：通过在土壤中施用专用的防白蚁药剂，形成一道化学防护层。药剂可直接接触并杀灭白蚁，或使其产生忌避反应而无法通过。化学屏障通常与物理屏障结合使用，以达到更长效、可靠的防护效果。

综合防治：本条文强调“综合采取”屏障措施，旨在通过物理屏障的阻隔与化学屏障的杀灭/忌避双重作用，构建一个立体的防护体系，确保建筑物免受白蚁侵害。

《房屋白蚁防治技术标准》JGJ/T 245 是房屋白蚁防治的专项技术标准，详细规定了白蚁预防的设计、施工、质量检验和验收要求。现行版本 JGJ/T 245-2024 相较于旧版 JGJ/T 245-2011，虽不再将物理屏障作为主要推荐措施，但并未否定其在特定工程条件下的适用性。在红砂场地物理屏障仍可作为化学屏障的补充。

3.0.6 红砂地基处理施工时，应采取有效措施将红砂土的含水率控制在最优含水率附近；处理地基检测时，应复核红砂的水敏性；桩基承载力检测时，应考虑红砂的软化效应。施工与检验工作除符合本标准规定外，还应符合国家现行标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202、《建筑地基处理技术规范》JGJ 79、《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106 等的有关规定。

【条文说明】 红砂土的工程特性决定了其施工过程对含水率极为敏感，而其“水敏性”和“软化效应”又直接影响地基的最终质量。因此，应将施工过程的含水率控制、以及针对特殊性质的专项检验紧密结合，形成全过程的质量控制体系。人工处理地基的质量检验，不能仅满足于常规的压实度或承载力检测,应专门复核红砂的水敏性。特别是采用强夯法处理时，虽然土体密实度提高，但其遇水软化的特性并未消除。因此，应通过浸水载荷试验等方法，评估地基在持续浸水状态下的性能，确保满足最不利工况要求。对于桩基检测，应考虑红砂的软化效应对承载力的影响。在进行静载荷试验或高应变检测时，应充分考虑桩周红砂土在水作用下强度降低的因素,必要时进行模拟浸水试验,以获取更符合实际工况的承载力数据。

3.0.7 红砂场地建（构）筑物的运营与维护，应建立系统性的巡检和监测制度，重点对地基沉降、地下水位、排水系统、水力侵蚀及白蚁危害等情况进行检

中国勘察设计协会

查和维护，并根据检查结果及时采取相应措施。

中国勘察设计协会

4 勘察

4.1 一般规定

4.1.1 红砂场地的岩土工程勘察工作应包括工程地质调查、勘探取样、原位测试及室内试验等内容。应针对红砂水敏性强的特性，开展天然状态与持续浸水状态下的对比勘察工作。

4.1.2 红砂场地的岩土工程勘察除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 要求查明的内容外，还应查明下列内容：

1 红砂的平面分布和厚度；

2 红砂层的水敏性；

3 红砂层及下伏岩土层的渗透性；

4 地下水和地面水的汇流、径流与排泄路径；

5 红砂水力侵蚀现状。

【条文说明】 红砂层的厚度受沉积环境及后期剥蚀作用影响，空间变异性较大。以罗安达 Quelo 砂为例，其在沿海峭壁露头处的厚度通常不足 5m，但在内陆地区厚度可超过 15m；据 Brognon 和 Verrier（1955）的研究数据，局部地段厚度甚至可达 50m。因此，勘察工作应重点查明红砂层的平面分布规律及厚度变化特征，为地基评价提供准确依据。

水是控制红砂工程性质的关键因素。红砂普遍具有显著的水敏性，查明红砂的水敏性特征（特别是软化和湿陷特征）是岩土工程勘察的核心内容，直接关系地基稳定性的评价。

查明红砂层及其下伏岩土层的渗透性差异及地下水环境至关重要。红砂层通常具有较好的透水性，而其下伏基岩（如泥岩、花斑状砂土等）往往透水性较差。这种“上透下不透”的二元结构，在降雨、灌溉、绿化或地下管道渗漏等补给条件下，极易在红砂层底界形成“上层滞水”。滞水的产生会软化红砂层底，降低抗剪强度，是导致地基失稳或产生不均匀沉降的主要诱因。因此，勘察时应重点关注红砂底界的岩性特征、渗透性差异以及地下水赋存状态。

水力侵蚀是红砂地区常见的地质现象，主要分布于沿海红砂陡崖、内陆人工切坡及地形起伏较大的区域。现场水力侵蚀的现状（如冲沟发育程度、坡面剥落情况）是评价红砂可蚀性（即土体对水力侵蚀的敏感性）的宏观表征，勘察时应予以重视并结合环境条件进行综合评价。

中国勘察设计协会

4.1.3 红砂土工程性质评价，应采用现场原位试验和室内土工试验相结合的方法。

【条文说明】 红砂的工程性质评价，推荐采用现场原位测试与室内土工试验相结合的综合方法。标准贯入试验是红砂勘察中常用的原位测试手段，可有效反映其密实度和强度变化。在含水率适中的地段，红砂能够采取原状土样，因此应系统开展室内土工试验，获取其物理力学指标和水理性质参数。通过将室内试验成果与原位测试数据进行对比分析，可以更全面、准确地评价红砂的水敏性特征及其力学强度的变化规律。

对于水敏性显著、工程经验相对缺乏的地区，为更真实地模拟红砂在浸水条件下的地基响应，可开展浸水载荷试验，以评价其在饱和状态下的地基承载力和变形特性。此外，为准确判别红砂是否具有自重湿陷性，宜进行现场试坑浸水试验，为地基处理方案提供可靠依据。

4.1.3 评价水敏性所采用的不扰动土样应保持天然的结构、密度和湿度，评价渗透性用的不扰动土样应保持天然的结构和密度。

【条文说明】 根据现有科研成果与工程实践经验，红砂地层在采用适宜的取样工艺时，能够获取满足试验要求的不扰动试样。已有研究表明，红砂重塑样与天然不扰动样在物理力学性质上存在显著差异（见图 3），因此在开展水敏性、渗透性等关键试验时，必须严格保持土样的天然结构，通过采用合理的取样手段，确保土样在采集、运输和制备过程中不受扰动和受压。

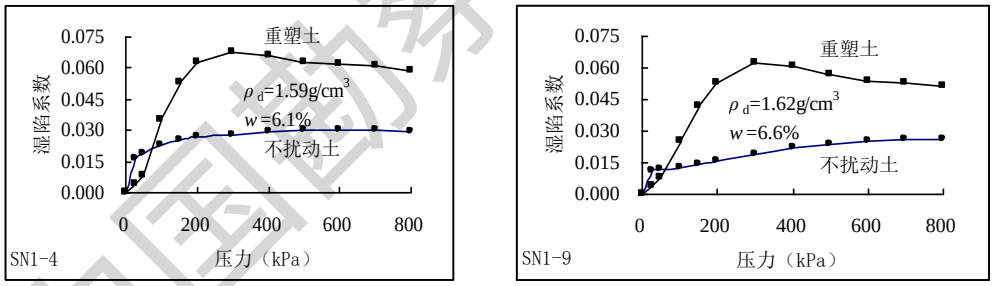


图 3　重塑土与不扰动土湿陷性试验

为统一不扰动土样的质量标准，本条文参考了国内外相关规范的要求：

中国标准：《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009 年版）第 9.4 节规定，用于室内压缩、剪切等试验的不扰动土样属于I级土样；

美国标准：ASTM D4220/D4220M-14 标准将土样质量等级分为四类，红砂岩不扰动土样对应于 C 级（Class C）；

欧洲标准：BS EN 1997-2:2024 标准中，能够满足压缩、直剪、渗透等室内试验要求的土样等级为 1 级，对应的现场取样等级为 A 级。

中国勘察设计协会

尽管各国规范在分级体系上有所差异，但其核心要求具有一致性，即要求土样结构完整，密度和湿度等基本物理状态不发生变化，以确保能够开展压缩、直剪、渗透等关键室内试验。

4.2 工程地质环境调查

4.2.1 工程地质调查应调查场地及周边的下列内容：

1 岩土的岩性、颜色及其空间分布特征；

2 植被类型、覆盖度及分布范围；

3 地表水体的分布、形态及动态变化，地表水与地下水的补排关系；

4 生活、施工、灌溉及绿化等人为用水活动情况；

5 降雨量、降雨强度、暴雨频率、蒸发量、湿度、气温等气象特征；

6 红砂水力侵蚀现状及其发育特征；

7 红砂边坡的位置、坡高、坡度及其稳定性；

8 蚁穴的分布位置、外观尺寸和深度；

9 既有工程的地基处理方式及其病害现状；

10 遗留地雷、未爆弹药的分布情况及潜在风险。

【条文说明】 植被覆盖度是指某一区域内，植物（包括茎、叶、枝等）垂直投影面积占该区域总面积的百分比，红砂地区的植被发育与岩土体天然状态的物理力学性质密切相关，可通过现场观测结合遥感资料进行评估。

4.2.2 植被类型可按草地、灌木林、乔木林和耕地进行分类。

【条文说明】 红砂地区的植被类型通过影响土体的水分平衡，显著改变其物理力学状态。不同植被类型的蒸腾耗水能力与地表水补给条件存在差异，导致红砂层在不同植被覆盖下的含水率分布特征呈现明显区别：

灌木林与乔木林：其根系发达且蒸腾作用强烈，在覆盖度较高的区域，表层至一定深度范围内的红砂因持续失水而处于“干硬”状态。此类土体通常表现为天然含水率偏低、标准贯入击数偏高，且由于土体结构的欠压密性，其湿陷系数往往较大。

草地与耕地：地表水径流、人工灌溉等补给条件相对充分，土体含水率较高，多呈“稍湿～湿”状态。此类红砂的密实度相对较低（标贯击数偏低），湿陷系数也因土体预先的水合作用而相对较小。

因此，明确植被类型不仅有助于判断红砂层的天然含水状态，还可为预估其物理指标（如

中国勘察设计协会

含水率、密度）和原位测试结果（如标贯击数、湿陷性）提供重要参考，是工程地质调查中不可忽视的环节。

4.2.3 红砂水力侵蚀类型应根据其发育特征划分为溅蚀、面蚀、沟蚀和潜蚀，其中沟蚀的调查应系统测量其位置、深度、宽度、长度、坡度及走向等形态参数，并依据沟蚀深度按表 4.2.3 进行分类。

表 4.2.3 红砂沟蚀分类标准

沟蚀分类名称	沟蚀深度 H（m）
浅沟	H<0.5m
切沟	0.5≤H<5m
冲沟	H≥5m

【条文说明】水力侵蚀形式包括溅蚀、面蚀、沟蚀和潜蚀等。

溅蚀：指在雨滴击溅作用下，土壤结构破坏和土壤颗粒产生位移的现象。

面蚀：指斜坡上的降雨不能完全被土壤吸收形成地表径流，径流处于未集中的分散状态冲走地表土粒的现象。

沟蚀：指在面蚀的基础上，分散的地表径流由于地形影响逐渐集中，形成有固定流路的水流（股流），切入地面带走土壤、母质及破碎基岩，形成沟壑的现象。

潜蚀：指地下水流形成排水通道，带走土壤颗粒的现象。

关于沟蚀的细分类型，存在多种划分方案。条文参考论文《Ravines in collapsible soils of Luanda, Angola: forms of erosion-state of the art》中的划分方案，结合红砂的特性制定。

4.3 勘察工作布置

4.3.1 详细勘察阶段勘探点的布设、原位测试和地下水位监测应符合下列规定：

1 勘探点间距或数量可按表 4.3.1，根据工程特点和地质条件复杂程度，结合工程所执行的技术标准确定；

表 4.3.1 勘探点间距或数量

类型	勘探点间距（m）或数量
高层建筑、工业建筑	20～50
一般建构筑物	30～60
桩基工程	12～35
桥梁、烟囱、大型罐体、筒仓、机场指挥塔台、机械设	4～6 个勘探点

中国勘察设计协会

备底座等	
输电线塔、信号塔、取水泵房、风电塔等	至少 1 个勘探点

2 应有勘探点穿透红砂层，查明下伏岩土层性质；

3 勘探点类型宜包括原位测试孔和采取不扰动土样的取样孔，原位测试孔可为标准贯入试验孔、动力触探试验孔；宜布设对比天然和浸水条件的标准贯入试验；

4 需查明地下水变幅时，宜布设长期水位观测孔。

【条文说明】 根据安哥拉近年来的主要工程建设类型，综合参考中国 GB 50021-2001（2009 年版）、美国 FHWA 标准、UFC 标准、ASCE 手册以及欧标 EN1997-2:2024 的相关规定，提出了表 4.3.1 的勘探点间距建议值。

红砂层的厚度及其下伏岩土层的性质是决定是否形成上层滞水的关键因素，当红砂层厚度较大时也布置一定数量的钻孔穿透红砂层，查清下伏岩土层的性质，对于评估上层滞水赋存的可能性至关重要。布设天然与浸水条件下的标准贯入对比试验，旨在判断土体浸水前后标贯击数的衰减情况，从而评估因浸水软化造成的岩土力学指标劣化程度。

4.3.2 拟采用桩基础的建筑，勘探深度应满足桩基评价的要求。

【条文说明】 红砂遇水软化的特性，不宜作为桩端持力层。对于荷载较大或对差异沉降敏感的建筑，采用桩基础时应优先选择下伏坚硬、稳定的岩土层作为桩端持力层。此时，勘探深度需穿透红砂层底界，进入稳定地层一定深度，以准确查明持力层的分布、厚度及工程特性，为桩基设计提供可靠依据。当红砂层厚度较大、桩端需置于红砂层内时，应确保该层红砂的承载力满足设计要求，勘探深度可不穿透红砂层，但需保证对桩端以下影响范围内的地层进行充分探查。

4.3.3 勘察方案可布设测试天然和持续浸水条件下（先湿法）地基承载力的现场浅层平板载荷试验，测试浸水附加沉降的后湿法静载荷试验，以及现场试坑浸水试验。

【条文说明】 天然和浸水载荷试验是评价红砂水敏性最有效的手段，有条件时应开展。现场试坑浸水试验是湿陷性黄土场地测试自重湿陷量、评价场地湿陷性的重要试验，在新建地域的重大工程中应用较多。关于自重湿陷量，根据室内自重湿陷试验结果可以计算，根据现场试坑浸水试验可以实测，对黄土而言，计算值和实测值往往并不相等，甚至差异较大，被称为黄土湿陷的不等价性。试坑浸水试验是原位测试方法，通常认为实测值更能反映客观实际。

安哥拉红砂湿陷性也具有湿陷不等价性，依托 Kilamba Kiaxi 项目开展的试坑浸水试验，

中国勘察设计协会

在红砂土厚度 15m 的试验场地，按室内自重湿陷系数试验结果计算得自重湿陷量平均值为 216mm，开挖直径 16m 的试坑进行现场试坑浸水试验，实测红砂层未发生明显自重湿陷沉降。鉴于红砂地区开展的试坑浸水试验数量不多，在重大工程中可布置现场试坑浸水试验评价自重湿陷性。

4.3.4 为评价红砂在天然含水状态下的工程性质而进行的取土和原位测试，其勘探方法应避免对土样或测试土体注水或使用泥浆。

【条文说明】 红砂地层需要采取不扰动试样或进行天然状态下的标贯试验时，宜采用螺旋钻进、回转钻进、冲击钻进等方法，不得使用泥浆护壁或注水钻进，否则容易造成室内试验和原位测试成果失真。

4.3.5 红砂土取样宜符合下列规定：

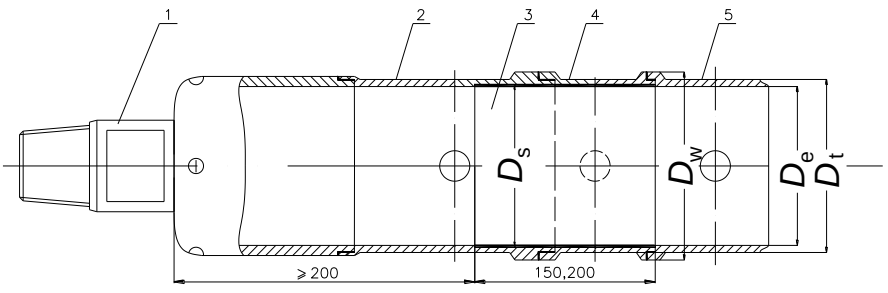
1 钻孔中可采用薄壁取土器采取不扰动土试样，取样间距宜为 1m～2m，取样长度不宜小于 200mm；

2 颗粒分析试验的土样重量不宜少于 200g；击实试验的土样质量不宜少于 50kg；承载比试验的土样质量不宜少于 70kg。

【条文说明】工程实践表明，红砂不扰动试样可以用薄壁取土器（参数见表 2，图 4）获取。《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018 规定探井的取样间距为 1m，美国 FHWA 规范、UFC 规范及欧洲 EN1997-2:2007 规范中有取样间距的规定，一般间距规定为 1.5m。对于浅层红砂，取样间距可适当较小，深度大于 10m 以后，间距可适当增大，取样间距以 1m～2m 为宜。

表 2　薄壁取样器的尺寸

外径 (mm)	刃口内径 (mm)	放置内衬后内径 (mm)	盛土筒长 (mm)	盛土筒厚 (mm)	余（废）土筒长（mm）	面积比（%）	切削刃口角度（°）
＜129	120	122	150、200	2.00～2.50	200	＜15	12



中国勘察设计协会

图 4 薄壁取样器示意图

1——导径接头 2——废土筒 3——衬管 4——取样管 5——刃口

D_s——衬管内径 D_w—取样管外径 D_e——刃口内径 D_t——刃口外径

红砂最大粒径基本小于 2mm，ASTM D422-63(R07)^{e2} 标准规定筛分试验的砂土样质量为 115g；BS EN1997-2:2007 规范附录 L 规定筛分的初始质量为 200g；中国《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 规定的取样质量为 100g～300g，综合按照 200g 取样考虑。

《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 重型击实的容积为 2103.9cm^3，要求风干土样质量约 50kg; ASTM D1557 规定的重型击实筒为 2124cm^3，需要完成不同含水率的击实试验 5 次，每个风干土样质量约为 7.5kg 左右，总计约 40kg 左右；欧洲标准 BS EN 13286-2-2010(2012)规定重型击实的容积为 2250cm^3,制备试样时,应制备不少于 5 个风干试样约 25kg 的代表性样品，综合按照 50kg 考虑。

《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019 规定按最优含水率配制 3 个试样开展承载比（CBR）试验，每个最少 7kg，加上击实试样质量 50kg，累计 CBR 试验的风干土试样质量约 71kg，在实际工程取样中，为了确保有足够的材料进行平行试验或应对意外，按 80kg 考虑； ASTM D1883-21 规范中 8.1.2 节规定在最优含水率附近制备 3 个 CBR 试样，每个试样至少 7kg 以上，则 CBR 试样质量至少约 25kg，加上击实试样质量 50kg，则至少需要土样约 80kg；BS EN13286-47-2012 规范要求 CBR 试验时，一个试样的制备质量约为 7.5kg，但并未说明做几个。综合考虑，无论执行何种标准，CBR 试验土样质量按照 80kg 考虑。

4.3.6 红砂不扰动试样应密封良好，运输过程中应采取减小振动影响的措施；测试含水率的试样应采取防止水分损失的措施。

4.3.7 红砂层中的标准贯入试验间距宜为 1m～2m。对比天然和浸水条件的标准贯入试验宜符合下列规定：

1 对比试验可在同一钻孔或在岩土条件相同的两个相邻钻孔中进行；

2 天然条件标准贯入试验位置应保持土的天然含水状态，浸水条件标准贯入试验影响范围内红砂土应浸水增湿，增湿可采用滴灌，滴灌时间应通过试验确定；

3 同一钻孔中对比试验应在试验位置先进行天然状态标准贯入试验，清孔去除扰动层后对钻孔底部红砂土浸水增湿，增湿后立即开展浸水条件试验；

4 应从标贯器中采取扰动土试样测试土的含水率，浸水条件土试样应取自标贯器中段或拌合均匀的整筒土样；

5 浸水条件的标准贯入试验应符合附录 A 的规定。

中国勘察设计协会

4.4 现场试验

4.4.1 测试天然和持续浸水条件红砂承载力的现场浅层平板载荷试验除符合项目约定技术标准有关载荷试验的规定外，还应符合下列规定：

1 应布置在有代表性的地点，每个工程地质单元不宜少于 3 组；

2 试验坑底面标高应根据基础底面标高结合场地条件确定，宜为基础底面标高；试验坑底面应整平；试验试坑宽度或直径不应小于承压板宽度或直径的 3 倍；

3 天然和持续浸水条件的试验应在地层分布、物理力学状态相同的邻近位置开展；宜在试验坑开挖过程中现场取环刀试样，测试试验点位置地基土的常规物理力学性质；

4 天然条件试验的试验压力应包含 200kPa，加压增量宜为持续浸水试验增量的整数倍。

【条文说明】 为准确评估红砂在不同湿度状态下的承载力特性，需在同一工程地质单元内选取代表性位置进行对比测试。每组完整的对比测试包含一个天然条件试验和一个持续浸水条件试验，为保证数据的统计有效性，每个地质单元的试验组数不宜少于 3 组。当各组试验数据的最大差值超过平均值的 30%时，应分析原因，必要时增加试验数量以查明场地的变异性。

在进行湿陷性评价时，200kPa 是关键的评价压力。例如，中国《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）即规定，200kPa 压力下浸水载荷试验的附加湿陷量与承压板宽度之比等于或大于 0.023 的土判定为湿陷性土。因此，本条文要求试验压力应包含 200kPa，以便为红砂的湿陷性评价提供关键依据。

载荷试验承压板的面积，中国湿陷性黄土场地上的实践经验表明宜为 0.5m^2，红砂场地优先采用 0.5m^2，天然含水条件红砂承载力高、需测试极限承载力时，天然和浸水条件试验也可采用 0.25m^2。

4.4.2 测试持续浸水条件承载力的（先湿法）现场浅层平板载荷试验应符合下列规定：

1 试验坑底部、承压板周边应铺设一层厚度 2cm～3cm 的圆砾或角砾，避免红砂土裸露；

2 应持续向试坑中浸水，保持坑底有略高于圆砾或角砾顶面的水头，直至承压板底下不小于 3 倍承压板直径深度地基土受水浸湿后开始加载试验；加载试验过

中国勘察设计协会

程中应保持试验坑内应保持圆砾或角砾顶面浸没在水下；

3 加压增量不宜大于 25kPa，试验终止压力不应小于 200kPa；

4 载荷试验完成后，宜在承压板旁取样测试地基土常规物理力学指标，可测试试验坑下不小于 3 倍承压板直径深度含水率随深度关系。

4.4.3 测试浸水附加沉降的后湿法静载荷试验应符合下列规定：

1 试验坑尺寸、试坑坑底标高和圆砾、角砾铺设要求应符合本规程第 4.4.1 条和第 4.4.2 条要求；

2 应在天然含水状态分级加载至 200kPa，沉降稳定后向试验坑注水，维持 200kPa 荷载不变，保持有略高于圆砾（角砾）顶面的水头浸没，进行浸水附加沉降的观测；

3 浸水期间的沉降观测时间间隔可等同于天然含水状态加载每级加压后的观测间隔；

4 浸水附加沉降稳定后，可终止试验，也可继续分级加载；

5 宜测试天然和浸水后地基土的常规物理力学指标。

4.4.4 现场试坑浸水试验除应符合附录 B 规定外，还应符合下列规定：

1 应布置取土孔和原位测试孔测试自重湿陷系数、饱和渗透系数、常规物理力学指标随深度的变化，确定湿陷性土层的下限深度，查明下伏土层的渗透性；下伏土层是膨胀土时应测试膨胀率、自重压力膨胀系数、膨胀力等指标；

2 试坑宜布置为圆形，直径不应小于红砂底面深度；试坑外宜距离试坑边缘不同距离布设水位观测孔；

3 若需测试水的浸润过程，应在试坑内外不同深度布设土壤水分计和孔隙水压力计，不应布设渗水孔，埋设深标点的钻孔应回填并采取隔水措施；

4 浸水前期宜间歇浸水，完成红砂层浸水后，试坑中宜保持持续稳定的水头高度；

5 停水后，宜布设勘探点确定浸润范围，布设原位测试孔和取土孔同浸水前的土性指标进行对比。

【条文说明】 现场试坑浸水试验不仅能够测量地表的总变形量，还能揭示不同深度处的变形特征。依托 Kilamba Kiaxi 项目开展的试坑浸水试验，红砂层在浸水后未发生明显的湿陷变形，但其下伏的泥岩层（图 5）在吸水后产生了显著的膨胀效应，最终导致地表出现抬升现象。当下伏土层为膨胀岩土时，测试表征膨胀的指标对分析和准确解释试验过程中地

中国勘察设计协会

表变形具重要作用。

4.5 室内试验

4.5.1 红砂土室内应进行颗粒分析试验和水敏性试验。水敏性试验应包括湿陷系数、自重湿陷系数、抗剪强度指标、压缩模量、压缩系数的测定。

【条文说明】本条规定旨在系统评估红砂在遇水后的力学性质劣化特征，为工程设计提供关键参数。鉴于红砂具有显著的水敏性，浸水饱和后其抗剪强度指标、压缩模量和压缩系数通常会发生明显的劣化衰减，仅测试天然状态无法真实反映其在不利水环境条件下的工程性质。因此，应同步测定天然含水状态与浸水饱和状态下的上述力学指标，以获取参数的衰减幅度，为地基承载力、沉降和边坡稳定计算提供依据。

4.5.2 颗粒分析试验应将试样通过 0.075 mm 筛水洗，筛上土样采用筛析法测定，筛下土样采用密度计法测定，综合确定土的颗粒级配。

【条文说明】红砂中的黏土矿物具有胶结作用，常将细小颗粒吸附形成难以自然分散的土团。若采用直接干筛法，土团无法被分解，将导致颗粒级配测试结果严重失真。因此，必须采用“水洗法”测定，通过水流冲散和机械搅拌分离粗细颗粒，即中国《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019“含有黏土粒的砂砾土”的试验方法：

1)将土样放在橡皮板上用土碾将黏结的土团充分碾散，用四分法称取代表性试样，置于盛有清水的瓷盆中，用搅棒搅拌，使试样充分浸润和粗细颗粒分离；

2)将浸润后的混合液过 2mm 细筛，边搅拌边冲洗边过筛，直至筛上仅留大于 2mm 的土粒为止。然后将筛上的土烘干称量，并进行粗筛筛析；

3)用带橡皮头的研杵研磨粒径小于 2mm 的混合液，待稍沉淀，将上部悬液过 0.075mm 筛。再向瓷盆加清水研磨，静置过筛。如此反复，直至盆内悬液澄清。最后将全部土料倒在 0.075mm 筛上，用水冲洗，直至筛上仅留粒径大于 0.075mm 的净砂为止；

4)将粒径大于 0.075mm 的净砂烘干称量，并进行细筛筛析；

5)将粒径大于 2mm 的土和粒径为 2mm～0.075mm 的土的质量从原取土总质量中减去，即得粒径小于 0.075mm 的土的质量；

6)当粒径小于 0.075mm 的试样质量大于总质量的 10%时，应按密度计法或移液管法测定粒径小于 0.075mm 的颗粒组成。

采用“水洗法”可更真实地反映红砂的颗粒组成。例如，罗安达地区的 Quelo 砂若按直

中国勘察设计协会

接筛分结果可能定名为中砂，但采用水洗法后通常定名为粉砂，这一差异直接影响土体的工程分类。

细粒筛的孔径选择需根据项目执行的技术标准确定：中国和美国标准（如 ASTM）通常采用 0.075mm，而欧洲标准（如 EN ISO）采用 0.063mm。采用欧洲标准进行岩土工程勘察时，颗粒分析试验应将试样通过 0.063 mm 筛水洗。

ASTM2487-00 标准在进行砂土样定名时，需要不均匀系数（C_u）、曲率系数（C_c）、细粒含量百分比、碟式液限仪确定的液限等综合确定砂土的室内定名。

对细颗粒进行密度计法试验，不同标准对试样质量要求存在差异：中国标准规定为 30g，美国标准（ASTM D422-63）为 50g，欧洲标准（EN ISO 17892-4）为 20g～30g，应依据项目所遵循的具体规范执行。

4.5.3 湿陷系数试验的测定压力应为 200kPa。

【条文说明】湿陷系数的测定压力统一规定为 200kPa，主要参考了美国 ASTM D5333-03 中关于湿陷程度分类的试验压力，同时也与中国《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018 中针对特定深度和荷载条件的规定相协调，该压力值能反映红砂在常规工程荷载下的湿陷潜势。

4.5.4 抗剪强度指标、压缩模量和压缩系数应分别测定天然含水状态和浸水饱和状态下的值，天然和浸水饱和两种状态的试验数量应相近，且每层土应分别不少于 6 个。

【条文说明】关于试验数量，为了能够通过试验成果有效判断地基土层的均匀性及数据的离散程度，本条明确规定每层土在天然和浸水两种状态下的试样数量均应分别不少于 6 个，且两者的数量宜保持均衡，以确保测试结果具有足够的代表性与可靠性。

4.5.5 采用环刀制样进行试验时，应观察并记录细颗粒脱落情况。当存在明显颗粒脱落时，应评估其对试验结果的影响，并根据评估结果采取修正措施或重新制样试验。

【条文说明】在对红砂进行环刀取样及制备过程中，由于其天然含水率较低（通常在 4%左右）或土体结构较为松散，试样上下表面的细颗粒极易发生脱落，产生“掉渣”现象，这种细颗粒的流失会对试验结果的准确性产生多方面不利影响：

首先，在密度测试环节，颗粒流失会导致测得的干密度值出现偏差，不能真实反映原状土的密实程度。其次，在进行压缩或湿陷试验时，浸水过程中细颗粒可能随水流通过透水石进入压缩盒，造成试验测得的湿陷变形量大于土体实际的湿陷量，从而使湿陷系数偏高。

中国勘察设计协会

鉴于上述情况，当观察到明显的细颗粒流失时，试验人员应评估其对试验结果的影响程度。若评估认为影响显著，则应采取相应的修正措施或直接判定该次试验无效，并重新制备环刀试样进行试验，以确保最终获取的物理力学指标真实、可靠。

4.6 红砂的评价

4.6.1 红砂场地或土层的岩土工程分析评价应包括以下内容：

1 地基土因红砂冲蚀可能引发的稳定性问题及其防治措施建议；

2 土层竖向渗透性特征，以及在建筑使用年限内地基土含水率变化和地下水位上升的可能性；

3 红砂的湿陷性及其在天然状态与浸水饱和状态下的物理力学性质变化；

4 蚁穴对地基稳定性及上部结构安全的潜在危害，并提出相应的防治措施建议。

4.6.2 根据红砂的含水率划分湿度状态，宜符合表 4.6.2 规定。

表 4.6.2 红砂湿度分级

含水率 w	湿度
w<4%	干燥
4%≤w<8%	稍湿
8%≤w<12%	湿
w≥12%	很湿

【条文说明】红砂作为一种特殊土，其工程性质对含水率的变化极为敏感。含水率不仅是反映红砂当前状态的直观指标，更是决定其结构性、强度及湿陷潜能的关键因素。试验研究表明，红砂的物理力学性质随含水率的增加呈现出显著的非线性劣化趋势，其中 4%、8%和 12%是三个关键的阈值节点：

4%——取样难易与强度状态的分界点：当含水率小于 4%时，红砂普遍表现出承载力高、抗剪强度大的良好工程性质，但同时也伴随较强的湿陷性。此时土体结构性强且质地坚硬，导致野外采取不扰动试样极为困难，室内试验中环刀取样也易发生脱落现象。一旦含水率超过 4%，土体硬度降低，现场获取不扰动土样的难度显著减小。

8%——力学性质急剧衰减的转折点：在含水率达到 8%之前，红砂的力学性质随含水率增加而急剧下降。当含水率达到 8%时，承载力、压缩模量等关键力学指标已出现较大幅度的降低。超过 8%后，虽然红砂的湿陷与力学特性继续发生变化，但其劣化的速率明显放缓。

12%——低饱和度下的性质恶化点：研究证实，在持续注水并保持一定水头的条件下，红

中国勘察设计协会

砂的含水率可达 12%附近，而此时其饱和度仅维持在 60%左右。这一现象表明，红砂工程性质的恶化并不依赖于极高的饱和度。当含水率达到 12%时，即便处于非饱和状态，其低强度等不良工程特性也已十分突出。基于上述关键阈值的工程意义，本标准将红砂的湿度状态划分为“干燥”、“稍湿”、“湿”和“很湿”四个等级。这种划分方式不仅直观反映了红砂的含水状况，更重要的是，它对应了红砂工程性质的不同劣化阶段。

4.6.3 满足下列条件之一的红砂应判定为具有湿陷性：

1 天然和持续浸水条件（先湿法）下红砂承载力试验、测试浸水附加沉降的后湿法静载荷试验，测得 200kPa 试验压力下附加湿陷量与承压板宽度之比不小于 0.023；

2 室内试验测得 200kPa 试验压力湿陷系数（δ_s）不小于 0.015。

【条文说明】 本条文规定了判定红砂是否具有湿陷性的两个关键指标及其阈值。

首先，指标的阈值主要依据中国现行国家标准。现场平板载荷试验的判定阈值（附加湿陷量与承压板宽度之比不小于 0.023）引自《岩土工程勘察规范》GB 50021-2001（2009 年版）；室内试验的判定阈值（湿陷系数 δ_s 不小于 0.015）则引自《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018。

其次，依托 Kilamba Kiaxi 项目开展的专项研究为上述阈值应用于红砂提供了实证支持。研究表明，普通非饱和土浸水后承载力和模量一般都会有所降低，但只有当这种降低达到一定程度时，才被界定为湿陷性土。在 Kilamba Kiaxi 项目的试验中，含水率为 7.4%的红砂，其承载力特征值为 130kPa；在持续浸水饱和后，承载力特征值降至 100kPa。鉴于承载力下降幅度有限，可认为此处含水率 7.4%的红砂属于非湿陷性土。

基于此，研究将含水率 7.4%条件下的平板载荷试验作为“浸水前试验”，将持续浸水条件下的试验作为“浸水后试验”。通过对实测数据的分析，得出以下结论：

现场试验验证：在 200kPa 压力下，浸水前后试验的沉降差（即附加湿陷量 $\triangle F_s$）与载荷板直径（d）的比值为 0.026。该值与标准规定的 0.023 阈值接近。

室内试验验证：通过在浸水前后载荷板旁取样并测定压缩模量，计算得出因浸水导致的模量降低所产生的应变（可类比为“湿陷系数”）为 0.013。该值也与规范规定的 0.015 阈值相当。

综上所述，Kilamba Kiaxi 项目的研究成果证实，采用中国规范中针对湿陷性黄土的判定阈值来评价红砂的湿陷性是合理且可行的。

中国勘察设计协会

4.6.4 湿陷性红砂的湿陷程度划分，应符合下列规定：

1 当 $0.015 \leq \delta_s \leq 0.030$ 时，湿陷性轻微；

2 当 $0.030 < \delta_s \leq 0.070$ 时，湿陷性中等；

3 当 $\delta_s > 0.070$ 时，湿陷性强烈。

【条文说明】关于湿陷性红砂湿陷程度的划分，本标准直接引用了中国国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》（GB 50025-2018）的分级体系。这一决策是基于对国际主流标准差异的审慎评估以及安哥拉 Kilamba Kiaxi 项目工程实践经验的总结。

目前，各国规范对湿陷程度的界定存在显著差异。美国 FHWA-NHI-16-072（美国联邦公路管理局浅基础设计与施工手册）引用了多种评价体系，主要如下表 3。

表 3 FHWA-NHI-16-072 引用的湿陷性评价标准

来源	湿陷性	严重程度分类
Mock 和 Pawlak (1983)	0%~1%	无湿陷性
	1%~3%	轻微
	3%~5%	中等
	>5%	高
Jennings 和 Knight (1975)	0%~1%	无湿陷性
	1%~5%	轻微
	5%~10%	中等
	10%~20%	高
	>20%	非常高
Lutenegger 和 Saber(1988)	2.0%	轻微
	6.0%	中等
	10.0%	严重
ASTM D5333-03	0	无湿陷性
	0.1%~2.0%	轻微
	2.1%~6.0%	中等
	6.1%~10.0%	严重
	>10.0%	非常严重

ICE（英国土木工程师学会岩土工程手册）室内试验判定湿陷性土的标准和 ASTM D5333-03 标准保持一致，在 ICE 手册中，还提及了通过孔内旁压试验判断砂土湿陷性的方法，见表 4。

本标准选择 GB 50025-2018，主要基于 Kilamba Kiaxi 项目的实证数据与成功实践：

数据分布特征：对项目 1248 个 18m 深度内的土样进行统计，湿陷系数（δ_s）的分布呈现明显的集中趋势：52%的土样为非湿陷（<0.015），37%属于轻微湿陷（0.015~0.030），仅有 11%超过 0.030。这表明该地区红砂的湿陷性总体偏弱。

中国勘察设计协会

表 4 使用模量比预测湿陷性土湿陷等级

条件			湿陷可能性
E_C/E_D		E_W/E_D	
≈1	且	≈1	不湿陷
<1	且	≈1	中等程度湿陷
≈1	且	<1	中等程度湿陷
<1	且	<1	可能严重湿陷

注：E_D 为土的干模量，E_C 为湿陷时的模量，E_W 为湿陷后的模量。

设计策略的适配性：对“轻微”湿陷性的红砂，本标准主张采用“软化思路”进行地基设计。这一策略规避了湿陷量计算不确定性高及有的区段原状土样难以获取的技术难题。工程实践证明，对于 δs≤0.030 的红砂，采用软化思路设计地基，采取换填垫层等常规地基处理措施，足以保障多层建筑的安全，Kilamba Kiaxi 项目的成功即为明证。

风险控制的审慎性：鉴于更强湿陷性红砂（δs>0.030）的工程案例与处理经验相对匮乏，沿用 GB 50025-2018 的严格分级，有助于在缺乏充分本地经验的情况下，确保工程安全，为后续更复杂地基的处理积累数据与经验。

综上所述，结合项目数据特征与已验证的设计策略，采用 GB 50025-2018 的湿陷程度划分标准，既符合当地红砂的实际工程性质，也体现了技术上的稳妥与经济上的合理性。

4.6.5 当试坑浸水试验实测自重湿陷量不大于 70mm 时，应定为非自重湿陷性红砂场地；实测自重湿陷量大于 70mm 时，应定为自重湿陷性红砂场地。

【条文说明】条文针对红砂场地湿陷类型的判定，确立了以现场实测数据为核心、并借鉴黄土地区成熟经验的技术路线。

在岩土工程分类中，场地的湿陷类型（自重湿陷性与非自重湿陷性）是决定地基处理方案与建筑结构安全的关键指标。自重湿陷性场地意味着土体在上覆土层的饱和自重压力作用下，一旦受水浸湿，将产生显著的附加下沉，其工程危害性通常大于非自重湿陷性场地。

本标准规定，红砂场地的湿陷类型判定应以现场试坑浸水试验的实测自重湿陷量为准，而非依赖室内试验的计算值。这一原则的确立，源于对红砂特殊工程性质的认识及工程实践的验证。红砂的湿陷性表现出“不等价性”，即室内试验条件难以完全模拟现场复杂的应力状态与水文条件。以 Kilamba Kiaxi 项目试坑浸水试验为例，其地层结构如图 5 所示，其中①层为纯色红砂，$②_2$ 层白、黄、红色混合的杂色砂（花斑土），$②_1$ 层为①层和 $②_2$ 层之间的过渡层，以红色为主，夹杂白色和黄色砂，③层为新近系砂泥岩。① ~ $②_2$ 为 Quelo 组地层，但①和 $②_1$ 层才是本标准所述的红砂，尽管室内计算得出两层土的自重湿陷量高达

中国勘察设计协会

216mm，预示着强烈的自重湿陷风险，但现场试坑浸水试验并未观测到明显的自重湿陷沉降。同时，对野外自然降雨后积水坑周边地面的调查也未发现显著的自重湿陷迹象。这些事实表明对于红砂这类特殊土，现场实测值更能真实反映其工程性状。

因此，本标准采纳了更为可靠和审慎的现场实测判定法。一般情况下，红砂场地可视为非自重湿陷场地。仅当现场出现显著自重湿陷沉降的迹象时，才需通过专门的现场试验来最终确定其湿陷类型。

关于判定阈值“70mm”的设定，本标准直接采纳了中国国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018 中的相应规定。这一数值是基于中国黄土地区数十年的工程实践与理论研究总结得出的，已被证明在保障建筑工程安全与经济合理性方面是适宜且有效的。将其应用于红砂场地的湿陷类型划分，是基于工程经验的合理借鉴。

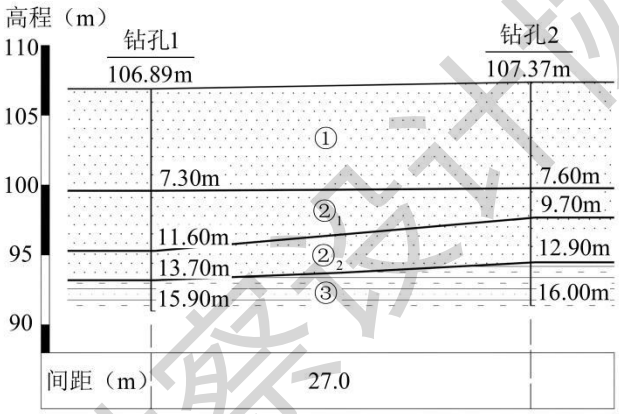


图 5 Kilamba Kiaxi 项目试坑浸水试验场地地层结构

4.6.6 应分别统计红砂土在天然状态和浸水饱和状态下的含水率、标准贯入试验锤击数、压缩模量、压缩系数及抗剪强度指标。

【条文说明】红砂的力学特性与含水率密切相关，呈显著负相关。研究表明，当含水率在 8%左右时，其力学指标开始大幅衰减；当含水率超过 13%时，细颗粒黏土矿物的黏附作用基本消失，力学指标降低后趋于稳定，此时即为最不利的含水状态。因此，在勘察阶段，必须分别对天然状态和浸水饱和状态下的物理力学指标进行测试与统计，以全面掌握土体性质。

4.6.7 红砂层的承载力特征值和旋挖成孔工艺灌注桩极限侧阻力标准值，可根据标准贯入锤击数实测值按表 4.6.7 估计，并应符合本标准 3.0.6 条规定。

表 4.6.7-1 红砂承载力特征值

标贯击数（击）	4	7	11	15	18	23	27	30
承载力特征值 kPa）	90	110	130	150	170	200	230	260

中国勘察设计协会

表 4.6.7-2 红砂桩侧阻力标准值

标贯击数（击）	灌注桩极限侧阻力标准值（kPa）
N≤5	15～20
5<N≤10	25～35
10<N≤15	35～50
15<N≤30	50～75
N>30	75～90

【条文说明】 本条文提出的红砂土承载力特征值及桩基侧阻力标准值，是基于中国工程经验，并结合安哥拉罗安达、索约等地区的勘察资料、平板载荷试验及试桩资料综合分析修正而来。表 4.6.7-1 和表 4.6.7-2 所提供的建议值，旨在为工程设计提供一个估算依据，其适用范围涵盖了红砂在天然状态及饱水状态下的承载力取值。

标准贯入试验（SPT）击数是评价土体工程性质的常用指标，但岩土体具有其固有的复杂性与变异性，承载力参数并非单纯随标贯击数呈单调变化。因此，表中所列数值为经验建议值。对于重要工程或地质条件复杂的场地，为获取更确切、可靠的设计参数，应开展现场载荷试验等原位测试工作。

在桩基工程方面，红砂土具有良好的直立性，旋挖干作业成孔灌注桩已成为一项成熟且广泛应用的工艺。该工艺成孔效果良好，对孔壁的扰动较小。表 4.6.7-2 中给出的桩侧阻力标准值，适用于采用旋挖成孔工艺的灌注桩设计。

4.6.8 红砂土承载力特征值，可根据固结快剪试验指标按下式计算。

$$f_{ak}=\frac{\pi(0.5\gamma_m+c_k\cot\varphi_k)}{\cot\varphi_k+\varphi_k-\frac{\pi}{2}}+0.5\gamma_m \qquad (4.6.8)$$

式中 f_{ak}-地基承载力特征值（kPa）；

γ_m-红砂土重度（kN/m^3）；

c_k-红砂固结快剪试验获取的黏聚力（kPa）；

φ_k-红砂固结快剪试验获取的内摩擦角（°）。

【条文说明】本条文采用《工程地质手册》（第五版）公式进行承载力计算，该公式的理论基础是基于基础受中心荷载作用下，地基土体刚开始出现剪切破坏、由弹性变形阶段进入塑性变形阶段的临界状态。

红砂作为一种特殊土，其工程性质与常规砂土存在显著差异。红砂中粒径小于 0.075mm

中国勘察设计协会

的粉黏粒含量较高，通常在 10%～30%之间。这些细粒土并非简单填充，而是包裹在砂颗粒周围形成具有联结作用的胶结结构。在含水率不高的情况下，这种颗粒间的联结作用较为牢固，使得红砂表现出一定的黏聚性。含水率均为 6%，不同细粒土含量和不同干密度的 Quelo 砂重塑土抗剪强度指标试验结果见表 5（QT1 和 QT2 为两组平行试验）。

表 5 不同细颗粒含量抗剪强度指标试验结果

试验编号	细粒土含量（%）	干密度 1.40 g/cm³		干密度 1.60 g/cm³		干密度 1.80 g/cm³	
		黏聚力（kPa）	内摩擦角（°）	黏聚力（kPa）	内摩擦角（°）	黏聚力（kPa）	内摩擦角（°）
QT1 重塑土	0.0	0	29.1	0	30.5	6	30.5
	20.0	4	27.7	7	25.2	6	31.3
	40.0	27	21.6	10	28.1	29	29.4
	60.0	20	29.2	65	31.0	65	46.7
	80.0	3	35.7	14	39.9	42	35.7
	100.0	4	33.7	59	31.4	44	31.9
QT2 重塑土	0.0	9	26.4	9	26.8	6	30.0
	20.0	5	28.6	8	27.2	16	29.2
	40.0	10	27.4	16	26.1	31	29.3
	60.0	5	31.3	18	31.4	82	21.7
	80.0	12	32.8	58	39.5	103	49.1
	100.0	20	28.5	58	39.5	30	40.6

根据表 5 的试验结果可以看出，在进行天然含水率红砂剪切试验时，其黏聚力值不为零。这一特性在承载力计算中必须予以考虑，不能套用无黏性土的计算模式。采用式 4.6.8，重度采用 19kN/m³，基础埋深取 0.5m，代入不同抗剪强度指标计算得承载力特征值如表 6 所示，与实际工程载荷试验结果基本吻合。

表 6 抗剪参数估算红砂地基承载力特征值

饱和快剪参数		承载力特征值（kPa）
黏聚力（kPa）	内摩擦角（°）	
4	32	90
5	33	100
7	34	120
9	34	160
11	36	190

4.6.9 红砂的可蚀性，可根据小于 0.075mm 颗粒质量占总质量的百分比（$P_{0.075}$）划分为强、中、弱 3 个等级：

1 当 $P_{0.075}$≤20%时，强可蚀性；

中国勘察设计协会

2 当 20%<$P_{0.075}$<40%时，中等可蚀性；

3 当 $P_{0.075}$≥40%时，弱可蚀性。

【条文说明】土壤的水力侵蚀是一个复杂的动态过程，其受降雨强度、地形地貌、地面物质组成、植被覆盖等自然因素以及人类活动的综合影响。

降雨因素：高强度降雨产生的动能会击溃土壤结构，当降雨强度超过土壤入渗能力时，会形成具有强大冲刷能力的地表径流，是导致水土流失的主要动力。

地形因素：坡度、坡长、坡形等地形因子直接影响径流的汇集与能量转化。在一定阈值内，坡度越大，径流冲刷能力越强，侵蚀量也越大。

植被因素：良好的植被覆盖可通过冠层截留降雨、枯落物层消减径流能量、根系固持土体等方式，有效减少径流量，延缓径流过程，从而显著降低侵蚀强度。

土壤因素：土壤自身的抗蚀性与抗冲性是决定侵蚀程度的关键内因。通常，土壤中细粒含量（特别是黏粒）越高，胶结物越多，其崩解速度越慢，抵抗水流冲刷的能力也就越强。

本条文针对红砂可蚀性的分级，主要基于土壤自身的物质组成这一关键内因进行界定。根据相关科研成果（来源：《Ravines in collapsible soils of Luanda, Angola: forms of erosion-state of the art》），红砂中细颗粒（<0.075mm）的含量直接决定了其抵抗水流冲刷的能力。当细颗粒含量较低（≤20%）时，粗颗粒间缺乏足够的胶结与填充，土体结构松散，极易被水流带走，表现为强可蚀性；随着细颗粒含量的增加（20%~40%），土体密实度和凝聚力有所提升，侵蚀程度表现为中等；当细颗粒含量达到 40%及以上时，细粒充分包裹并胶结粗颗粒，形成相对稳定的团聚结构，土壤的抗蚀性显著增强，表现为弱可蚀性。

4.6.10 红砂地区地震效应勘察，宜评价建筑场地类别，提供抗震设计的地震动参数。

【条文说明】红砂地区的工程抗震设计，通常需依据不同国家的设计标准进行。无论是采用中国、美国还是欧洲的标准，其核心方法均为反应谱法。因此，勘察报告中需明确提供建筑场地类别及地震动峰值加速度等关键参数。

1. 地震动峰值加速度

该参数可依据全球地震灾害图（GSHAP）查取。结合近年来在安哥拉红砂地区的工程实践经验，地震动峰值加速度一般可取 0.05g。

2. 建筑场地类别

场地类别的划分因标准而异，安哥拉红砂地区大部分场地的分类情况如下：

中国标准：按《建筑抗震设计标准》GB/T 50011-2010（2024 版），该地区抗震设防烈

中国勘察设计协会

度为 6 度，场地类别大部分为 II 类。在此条件下，可不进行饱和砂土的液化判别和处理。

美国标准：按 ASCE/SEI 7-10 规范，场地类别属于 D 类。

欧洲标准：按 BS EN 1998-5:2004 (Eurocode 8) 规范，场地类别属于 C 类。

采用美标 D 类或欧标 C 类进行设计时，虽其反应谱特性有所不同，但鉴于中国标准在此特定区域的明确规定及工程实践经验，可认为其地基是稳定可靠的，无需额外的液化处理措施。

中国勘察设计协会

5 设计

5.1 一般规定

5.1.1 红砂场地建筑地基基础设计应综合场地工程地质特征和水文气象条件，结合当地建设经验和施工条件等因素，综合确定地基处理措施、结构措施、防排水与抗水蚀措施、防白蚁措施。设计文件中应明确施工和维护管理基本要求和措施。

【条文说明】鉴于红砂具有显著的水敏性（软化、湿陷）、可蚀性强以及易受白蚁活动影响等工程地质特征，地基基础设计应重点围绕以下方面展开：

地基处理与结构措施：针对红砂遇水软化及湿陷的特性，应采取针对性的地基处理措施以消除或减弱其不良影响。同时，在上部结构设计中应采取有效的结构措施，以减小地基不均匀沉降及其对建筑物的危害。

防排水与抗水蚀措施：应采取严格的防排水及抗水蚀措施，一方面防止或减弱地表水、地下水渗入地基土中导致红砂软化；另一方面防止水流对红砂地基产生冲蚀破坏，或通过工程手段提高地基土自身的抗水蚀性能。

防白蚁措施：针对红砂地区白蚁危害严重的特点，设计时应结合现场白蚁调查结果，采取相应的防白蚁措施。

水敏性红砂地区设计时，应充分考虑场地的工程地质特征和水文气象条件。天然红砂渗透系数往往较大，经压实后的红砂垫层渗透系数虽有大幅度的减小，但往往不足以起到较好的隔水作用。日常生活用水、绿化用水和雨水等如不采取有效的防水措施，极易渗入地基土，导致红砂地基软化。尤其对于红砂厚度较小、底部存在相对不透水地层的场地，设计时应重点考虑受环境用水、生产生活用水、管道渗漏等因素造成的上层滞水问题，此类情况对建筑物会产生严重危害，是需要在设计文件中重点进行说明的内容。

5.1.2 红砂场地的工程建设场地选址应符合下列规定：

1 应避开洪水威胁地段；

2 场地地形条件应排水畅通、利于组织排水。

【条文说明】红砂场地地基基础场地选址尤为重要，洪水威胁的地段可能直接威胁到地基基础工程的稳定性、安全性，应避开。另外，场地的选择需要充分考虑地基浸水、受冲刷的影响，选择利于有组织排水、排水畅通的场地。

5.1.3 红砂场地的工程总图设计应符合下列规定：

中国勘察设计协会

1 斜坡地带，建（构）筑物宜沿等高线布置；

2 储水构筑物宜布置在地形较低处或地下水流下游地段。

5.1.4 红砂场地的工程建设位于坡地时，应整平成若干台地，并应符合下列规定：

1 雨水应沿坡向通过设置排水沟有组织排泄；

2 边坡应进行专业绿化或硬化设计，并做好防排水、滤水措施，保障土体稳定、避免冲刷；

3 沿边坡坡向的排水沟应有一定埋深，排水沟两侧应做好边坡绿化或硬化设计，保障排水沟底部及两侧土体稳定。

【条文说明】红砂地区工程位于坡地时，强降雨可能造成红砂受冲蚀严重、场地和地基的稳定性均会受到威胁，因此需要做好边坡的防冲刷和有组织防、排水。另外，也要尽量避免大挖大填造成场地不稳定。

5.1.5 红砂场地建（构）筑物地基基础工程设计时，宜采取措施控制上部结构规则性，加强上部结构整体刚度，避免采用整体刚度差的结构布置。

5.1.6 进行天然地基浅基础饱和红砂土承载力特征值修正时，基础宽度和埋置深度的地基承载力修正系数可分别取 0.0 和 1.0。

【条文说明】地基承载力深度修正系数的确定基于 Kilamba Kiaxi 项目场地的试验研究。在该场地进行的深层静载荷试验（埋深分别为 1.5m 和 3.0m）结果显示，红砂地基承载力随深度的增长效应并不显著。根据试验结果反推得出的深度修正系数约为 1.07，考虑到工程安全储备及数据的离散性，本标准偏于保守地取值为 1.0。 鉴于红砂土在饱和状态下表现出的力学特性与软土具有一定的相似性（如强度对水的敏感性），本条规定参照软土的取值原则，将宽度修正系数取为 0.0，即不进行宽度修正。

5.1.7 红砂场地上的建（构）筑物应按本标准第 6 章规定进行地基处理。

5.1.8 红砂场地平整之后的坡度，建筑物周围 6m 内不宜小于 2%，当为硬化地面时，坡度可适当减小；建筑物周围 6m 外不宜小于 0.5%。

【条文说明】建筑物周围防护范围内较近的区域，雨水应尽快排走，避免下渗，这样可以大大减小建筑物地基浸水的风险，保障地基基础安全。当场地坡度大时，也需要另外考虑防冲刷措施。

5.1.9 红砂场地的山区冲沟，应设置排洪沟有组织排洪，排洪沟与冲沟应平缓连接，并减少弯道。在转弯及跌水处应采取防护措施。

中国勘察设计协会

5.1.10 红砂场地建筑物室内及周围9m范围以内的地下涉水管道应设置检漏管沟和检漏井。检漏管沟和检漏井应便于检修，并做好防、排水措施。地基基础工程防排水和抗冲蚀措施中，换（回）填垫层的压实系数控制应以重型击实试验为基准。

【条文说明】防护范围内的涉水管道直埋可能会引起管道漏水直接下渗、浸湿建筑物地基、直至地基软化。且直埋管道漏水不易被发现，不便于检修更换，检漏管沟和检漏井设计时应考虑便于检修的原则。参考《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025-2018 关于“丙类建筑、Ⅳ级湿陷性黄土场地” 最小防护距离规定，规定建筑物周围 9m 内为防护范围，设置检漏管沟和检漏井。

鉴于红砂土极易受水侵蚀和崩解的特性，防排水和抗水蚀措施中的回填质量至关重要。以重型击实试验为基准控制压实系数，能显著提高填土的密实度，减少土体内部孔隙，从而增强土体的整体稳定性，大幅降低其渗透性和抗水蚀能力，有效抑制红砂土遇水崩解的风险。尽管重型击实标准要求较高的压实度，但根据工程实践经验，在合理的含水率控制（最优含水率附近）和适当的施工机械配置下，红砂土回填工程能够达到以重型击实为基准的压实系数要求。

5.2 地基基础设计

I 地基计算

5.2.1 建筑基础尺寸和承载力计算所采用的红砂地基承载力，应采用饱和状态下的承载力，或建筑生命周期内最高含水率所对应的承载力。

【条文说明】本标准确定红砂地基基础设计思路时，重点对比了“软化”与“湿陷”两种机理。尽管红砂遇水后会发生湿陷，但现场试坑浸水试验结果表明，红砂的湿陷量计算值与实测值之间存在显著的不等价性。理论计算值往往大幅夸大实际的湿陷危害，导致计算结果难以准确反映真实情况，给工程设计带来操作上的困难。另一方面，众多的工程实践结果证实，按软化思路进行设计是切实可行且安全的。因此，本标准规定红砂地基基础按软化特性进行设计，而未采用按剩余湿陷性量设计。

红砂土采用饱和承载力，是因为红砂土具有较好的渗透性，这使得其容易受到地表水或地下水的浸湿与软化。特别是在地质剖面中存在下伏低渗透性的岩土层时，水分下渗受阻，极易在红砂层中形成“上层滞水”。这种水文地质条件的改变会显著降低红砂土的强度。为了

中国勘察设计协会

确保建筑物在整个生命周期内的安全，本条规定设计计算时应采用饱和状态承载力，或预估建筑生命周期内可能出现的最高含水率对应的承载力。

5.2.2 红砂场地地基基础工程地基承载力计算时地基承载力特征值的确定，应考虑基础持力层含水率变化和地基可能浸水的不利影响。并应符合下列规定：

1 体型复杂的重要建筑物，地基承载力应通过浸水载荷试验确定；

2 一般建筑物，地基承载力应根据浸水条件标准贯入试验成果结合土性指标确定；当有充分依据确认红砂土地基无受水增湿可能时，可根据天然状态标准贯入试验成果结合土性指标确定，但应以雨季含水状态为基准调整。

【条文说明】红砂土的工程性质对含水率变化极为敏感，自然条件下红砂的含水状态在雨季和旱季存在区别，其强度在雨季会有所弱化。雨季含水状态可通过地区经验积累，当缺乏地区经验时，可采用现场浸水试验来确定雨季含水状态：选取代表性场地进行满浸，监测土体含水率随时间的变化过程（图 6），取停止浸水后“可维持界限含水率”作为雨季含水状态的基准值。在此状态下开展标准贯入试验或剪切试验，以推定雨季含水状态的承载力。

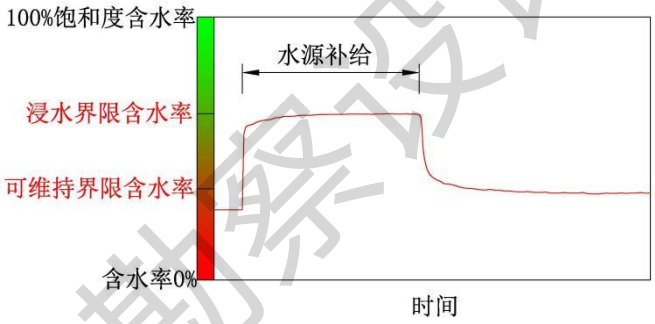


图 6 红砂土浸水含水率变化曲线

5.2.3 红砂场地建筑物的地基变形计算值，不应大于地基变形允许值。变形计算应考虑局部浸水可能引发的差异沉降。总沉降计算应采用红砂饱和或最不利含水状态对应的模量。

【条文说明】国内外众多标准都规定了地基变形允许值。中国《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011 规定了建筑物的地基变形允许值，ASCE Foundation Engineering Handbook 手册（第二版）中 7.6 节表 7.2 规定了容许沉降限制的要求，规定沉降变形特征分为总沉降量、沉降差、倾斜三个类型，与《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011 规定基本相似，大部分规定基本一致，仅有少量规定比 GB50007-2011 严格或宽松，具有一定的适用性。

BS EN1997-1:2004+A1:2013 规范附录 H 中规定了结构变形与基础沉降的限值。在该规范中规定，需考虑的基础沉降变形包括沉降、相对沉降（或不均匀沉降）扭曲、倾斜、相对

中国勘察设计协会

挠曲、相对转动、水平变形和振幅。对于空心框架结构、实心框架结构和承重砖墙或连续桩墙的可接受最大沉降差不太相同，但可能变化范围在 1/2000~1/3000 之间，以防止在结构中出现正常使用极限状态。对于许多结构来说，最大沉降差为 1/500 是可接受的，可能引起承载能力极限状态的沉降差约为 1/150。对于独立基础的典型结构，最大 50mm 的总沉降通常是可以接受的。BRE Digest 475 Tilt of low-rise buildings with particular reference to progressive foundation movement 著作中也提出了低层建筑的倾斜限值，大部分与《建筑地基基础设计规范》GB50007-2011 基本一致。

II 基础设计

5.2.4 红砂场地砌体承重结构当采用墙下条形基础时，应符合下列规定：

1 多层砌体承重结构应采用钢筋混凝土墙下条形基础，单层砌体承重结构宜采用钢筋混凝土或素混凝土墙下条形基础；

2 管沟穿墙位置，基础应增设暗梁或基础梁；基础梁或暗梁截面及配筋应按计算确定，并应满足相关构造要求；

3 墙下条基不连续处宜通过增设基础梁或增设带暗梁条基的做法拉接，以增加基础的整体刚度。

【条文说明】根据安哥拉地区工程经验，由于砌体结构抗不均匀能力较差，稍有地基变形不均匀，往往会引起上部结构产生裂缝，甚至可能引起质量事故的发生。故对砌体结构的基础选型和整体性采取了加强措施。

5.2.5 框架结构宜避免采用柱下独立基础。若采用独立基础，应沿独基双向设置基础拉梁。

【条文说明】独立基础的抗地基不均匀变形能力较差，当采用时应采取加强措施。天然红砂地基一旦浸水后地基承载力和压缩模量会迅速降低，此时采用独基时极有可能会引起地基不均匀沉降进而引起工程质量事故。应尽量避免天然地基采用独立基础。一般基础拉梁按轴心受拉构件计算，拉力可取拉接柱较大轴力的 1/10，当拉梁承受上部隔墙荷载时还应考虑其受弯承载力。拉梁根据具体受力状态应满足相关构造要求。

5.2.6 基础底面积应根据地基承载力验算确定，在条形基础相交处，不应重复计入基础面积。宜适当调整基础尺寸，减小地基附加压力。

【条文说明】适当增加基础刚度、控制沉降量可以有效控制沉降差，进而控制不均匀沉降。

中国勘察设计协会

III 防排水和抗冲蚀措施

5.2.7 红砂场地地基基础工程基槽（坑）的外侧回填土宜采用水泥掺量 5%～12%的水泥土，室内回填土可采用素土。回填土应分层压实，压实系数不应小于 0.93；管道两侧基槽宜采用水泥土分层压实回填，压实系数不应小于 0.93。

【条文说明】分层压实后的水泥土可形成一道隔水屏障，防止外部雨水或生活用水浸入，减少地基浸水或受冲刷的可能性。

5.2.8 红砂场地的坡道、室外台阶和散水底部应进行换垫层地基处理，垫层材料宜采用水泥土，厚度不应小于 300mm，处理范围应超出散水外边缘不小于 500mm，垫层压实系数不应小于 0.93。

5.2.9 红砂场地的人行道路工程和场地硬化工程，面层底部应进行换垫层处理，垫层材料宜采用水泥土，厚度不应小于 300mm,处理范围应超出面层边缘不小于 500mm，垫层压实系数不应小于 0.93。

【条文说明】根据国内湿陷性黄土地区一些建设经验，对近邻建（构）筑物的坡道、室外台阶和散水等室外工程底部做好地基处理可防止长期使用过程中雨水渗入地基。对于人行道路和场地硬化工程做好地基处理可防止雨水或生活用水对红砂场地造成冲蚀、软化。

5.2.10 红砂场地的室外排水沟、景观水池、花池应进行防水设计，池底及侧壁应采用混凝土结构，底部应进行换垫层处理，厚度不宜小于 300mm，处理范围应超出沟或池体外边缘不小于 500mm，垫层压实系数不应小于 0.93。

5.2.11 红砂场地的室外给排水管道宜设管沟，管沟或直埋管道底部应进行换垫层地基处理，垫层材料宜采用水泥土，厚度不应小于 300mm，处理范围每边应宽出管沟底板或管道底部柔性垫层边不小于 500mm，垫层压实系数不应小于 0.93。

5.2.12 红砂场地的室外绿化工程宜远离建（构）筑物，距离建（构）筑的边距不应小于 8m，绿化工程应进行专项设计，底部应设滤水层并应有集中排水措施。

【条文说明】参考《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025-2018 丙类建筑、Ⅳ级湿陷的埋地管道、排水沟、雨水明沟和水池与建筑物之间的防护距离最低要求，规定了室外绿化工程距离建（构）筑物的最小距离要求为 8m,考虑到红砂的冲蚀和渗透，需要做好滤水和排水措施。

中国勘察设计协会

Ⅳ 防白蚁措施

5.2.13 红砂地区建设工程的地基基础设计应查明建设场地白蚁的活动和繁殖情况，并应根据白蚁的种类、危害部位、危害程度以及环境状况进行防白蚁设计。

5.2.14 防白蚁设计应利用自然条件消除建设场区白蚁生存环境，并采用物理或化学屏障措施防治。

5.2.15 防白蚁设计利用自然条件消除建设场地白蚁生存环境时，应符合以下规定：

1 房屋应采用自然通风和采光；

2 应重点做好房屋屋面、底层卫生间等涉水部位防排水设计；

3 应做好地坪以下墙体和房屋室内地坪下部的防潮设计；

4 管道穿墙体和楼板的位置应封堵密实，不留缝隙；

5 底层直接接触土壤的木质材料应进行防白蚁处理。

5.2.16 房屋防白蚁设计可采用药物土壤保护屏障，应符合以下规定：

1 埋深不大于 3m 基础底部应设药物土壤水平保护屏障，厚度不小于 150mm,每边宽出基础边不小于 150mm；

2 埋深不大于 3m 的基础四周应设药物土壤竖向保护屏障，保护厚度不小于 150mm；

3 地坪以下和土壤直接接触的基础墙体两侧应设药物土壤竖向保护屏障，保护厚度不小于 150mm；

4 室内地坪下方应设药物土壤水平保护屏障，厚度不小于 150mm；

5 散水下方应设药物土壤水平保护屏障，厚度不小于 150mm，宽度不小于 300mm；

6 直埋管道外墙出入口位置的外墙外侧应沿管道设置环形药物土壤保护屏障，顺管道向不小于 300mm,沿管道径向保护厚度每侧不小于 150mm。

5.2.17 地基基础中的白蚁药物土壤屏障，无地下室和有地下室的时应按图 5.2.17-1 和图 5.2.17-2 进行设置，外墙管道出入口应按图 5.2.17-3 进行设置，并满足本标准第 5.2.16 条的要求。

中国勘察设计协会

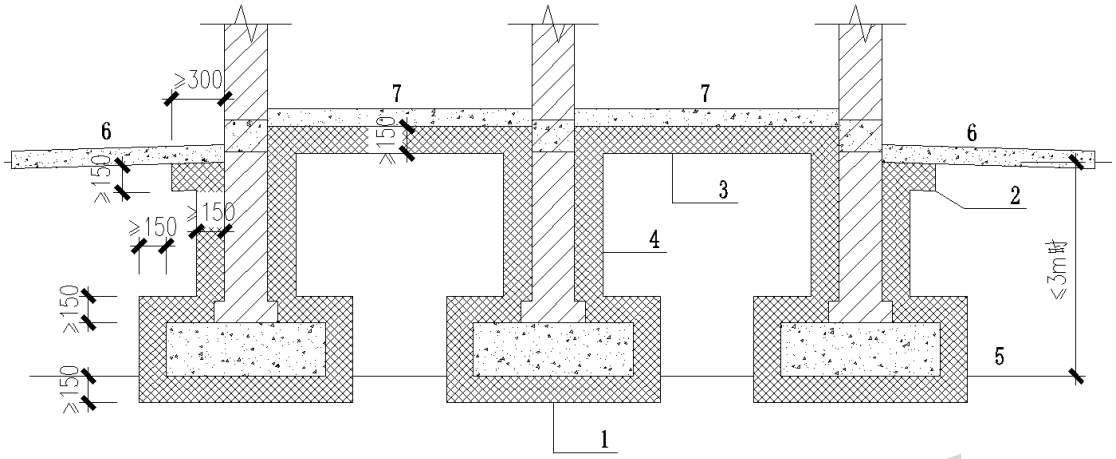


图 5.2.17-1 无地下室药物土壤保护屏障设置示意图

1—基底药物土壤水平保护屏障 2—散水底部药物土壤水平保护屏障 3—地坪底部药物土壤水平保护屏障 4—基墙两侧药物土壤竖向保护屏障 5—基底 6—散水 7—室内地坪

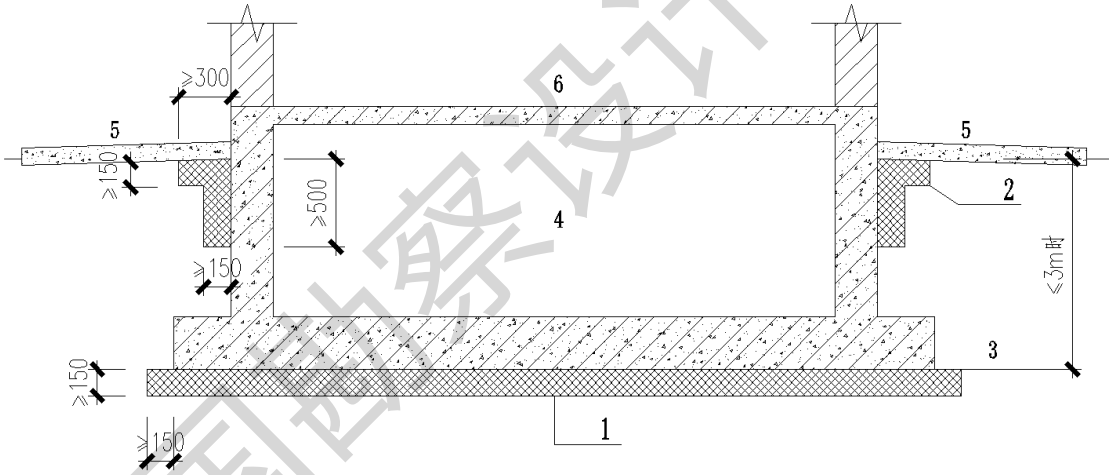


图 5.2.17-2 有地下室药物土壤保护屏障设置示意图

1—基底药物土壤水平保护屏障 2—散水底部药物土壤水平保护屏障 3—基底 4—地下室 5—散水 6—室内地坪

中国地质设计协会

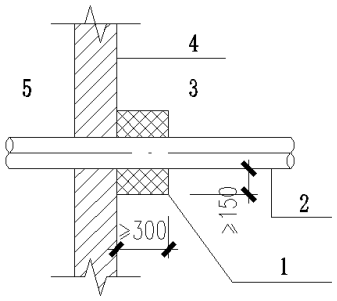


图 5.2.17-3 外墙管道药物土壤保护屏障设置示意图

1—环状药物土壤保护屏障 2—管道 3—室外 4—外墙 5—室内

【条文说明】安哥拉气候温暖湿润，适宜白蚁孳生繁殖活动，红砂地区白蚁活动较为活跃，白蚁主要以木材中的纤维素为食，白蚁入侵建筑物内部后，严重蛀蚀房屋的梁柱、门窗、橱柜等。基础、地下室外墙和管线入口等是白蚁进入上部结构的重要通道，设计时采取物理化学屏障措施和地基基础结合的措施，有效阻断白蚁入侵。对于白蚁的防治，本标准参考了《房屋白蚁防治技术标准》JGJ/T 245-2024 相关规定，对防白蚁设计要求进行了明确。

5.3 桩基设计

5.3.1 红砂场地的桩基选型，可采用旋挖成孔灌注桩等桩型。选型时，应根据工程要求、红砂层厚度、桩端持力层的土层情况、施工条件和场地周围环境等因素综合确定。

【条文说明】旋挖成孔灌注桩在红砂地区广泛应用，属于成熟的施工工艺，根据近些年工程实践，红砂场地施工分为干作业成孔和泥浆护壁成孔工艺，红砂天然含水率状态时直立性好，无地下水不易塌孔地层，多采用干作业成孔，红砂底部地层有地下水（和）或容易塌孔地层时，需要采用泥浆护壁成孔工艺。

5.3.2 红砂地区的桩基，桩端应穿过红砂层，选择较深的稳定土层作为桩端持力层。

【条文说明】在安哥拉红砂地区，大量的工业、电力能源、民用高层建筑、桥梁等采用桩基础，科研成果显示，即使处理后的红砂，遇水后仍然存在软化问题，在桩基设计时，红砂地

中国勘察设计协会

层无论处理与否，均不得作为桩端持力层，应选择红砂底部坚硬密实的稳定土层作为桩端持力层。

5.3.3 计算单桩竖向承载力和进行基桩承载力验算时，红砂层内的桩侧阻力应取饱和状态下的正侧阻力。单桩承载力特征值宜通过浸水静载荷试验确定；当采用普通静载荷试验时，应根据红砂水敏性对承载力进行折减修正。

【条文说明】由于红砂的水敏性，红砂层中的桩侧阻力也受含水率严重影响。某红砂场地 3m × 6m 的范围内，共布设 6 根试桩，桩径 0.6m，桩长均为 6.05m，桩端进入泥岩 2m，实测单桩极限承载力为 500kN ~ 1300kN，差异非常大。同时现场开挖查验，桩端未见明显沉渣。测试桩周土含水率，承载力 1300kN 的试桩，7m 深度内的含水率平均值为 12.8%，而承载力 500kN 的试桩，含水率平均值为 16.2%，表明含水率对侧阻力影响显著，为应对建筑运营期可能出现的地基土含水率增大，红砂层中的桩侧阻力应取饱和状态的侧阻力。

红砂层饱和状态的桩侧阻力目前还缺少实测值，根据摩尔-库仑理论，红砂层的平均极限桩侧阻力可按下式计算:

$$q_s = \frac{1}{2}\gamma h(1-\sin\varphi)\tan\varphi \qquad (1)$$

式中：q_s—红砂层平均极限桩侧阻力（kPa）；

γ—红砂层重度（kN/m^3）；

h—红砂层厚度（m）；

φ—红砂层内摩擦角（°）。

红砂层厚度取 8m，重度取 18.8kN/m^3，饱和内摩擦角取 25°，可得极限侧阻力为 20kPa。此值和《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008 经验值接近。按《建筑桩基技术规范》JGJ 94-2008，标准贯入击数 10 击的粉细砂，其极限侧阻力可取 22kPa ~ 24kPa，而饱和红砂的标准贯入击数约为 5 击。总体上初步设计时可按式（1）计算红砂土饱和状态的桩侧阻力。此外本标准表 4.6.7-2 列出了不同标准贯入试验锤击数下的侧阻力值，可供桩基承载力折减时使用。目前工程实践中尚未发现自重湿陷性红砂场地，但考虑到极端地质条件的可能性，若遇此类场地，需关注红砂层因自重湿陷产生的下拉荷载作用。负摩阻力的取值可通过现场实测确定，或数值等同于饱和状态下的正桩侧阻力。

中国、美国或欧洲基桩相关规范的经验公式仅用于设计阶段估算基桩承载力，单桩承载力特征值应通过载荷试验确定。若需要准确确定红砂层饱和状态条件下的基桩承载力，需要进行浸水载荷试验，按《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018，桩基浸水载荷试验按

中国勘察设计协会

浸水与加载的先后顺序分为先湿法和后湿法，先湿法先浸水后加载，而后湿法通常先加载至工作荷载再浸水，测试负摩阻力可选择后湿法和先湿法，而测定桩周土饱和状态的单桩承载力更适合采用后湿法。

5.3.4 先湿法浸水静载荷试验浸水坑的平面尺寸（直径或边长）不宜小于 5m，试坑底部应铺设 100mm～150mm 厚的碎石垫层，浸水应持续至浸润锋到达红砂层底界后开始单桩竖向静载荷试验。从开始浸水至试验结束的全过程，应保持试坑内水位覆盖垫层顶面。

【条文说明】本条浸水坑尺寸的要求来源于《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018，GB 50025-2018 规定黄土场地先湿法加载前连续浸水时间不宜少于 10d，因红砂土的渗透系数较大，浸水后水的下渗速度很快，浸润锋的运移速度能达到 8m/d，当浸润锋到达红砂层底界后即可开展单桩的分级加载试验。

中国勘察设计协会

6 地基处理

6.1 一般规定

6.1.1 红砂地基承载力或变形不能满足设计要求时，应采取地基处理措施或将基础设置在非红砂稳定岩土层上。

6.1.2 地基处理方法应根据建筑类别、场地工程地质条件，结合施工设备、进度要求、材料来源和施工环境等因素，经技术经济比较后综合确定。可选用垫层法、强夯法，以及其他经试验研究或工程实践证明行之有效的方法。

【条文说明】红砂地基处理的根本原理与湿陷性黄土地基处理具有相似性，核心目标均是通过物理或化学手段减小土体孔隙、改善土体结构，从而消除或减弱其水敏性，提高地基的承载力和稳定性。

在湿陷性黄土地区，成熟的地基处理方法包括垫层法、强夯法、挤密法、预浸水法、注浆法等。其中，预浸水法主要适用于自重湿陷性黄土场地，通过预先浸水使土体在自重作用下完成湿陷变形。然而，红砂场地通常属于非自重湿陷场地，其湿陷变形主要在外荷载作用下发生，因此预浸水法在红砂地基处理中并不适用。

除预浸水法外，垫层法、强夯法、挤密法及注浆法等在原理上同样适用于红砂地基。垫层法通过换填性能稳定的材料，直接置换不良土层；强夯法利用高能量冲击，使土体密实并消除湿陷性；挤密法通过侧向挤压改善土体密实度；注浆法则通过胶结材料填充孔隙、增强土体强度。

然而，受限于工程实践和研究深度，目前仅在安哥拉红砂场地中，垫层法和强夯法得到了应用和验证，其处理效果和经济性已得到确认。对于挤密法、注浆法等其他方法，虽在理论上具备可行性，但其在红砂中的适用性、施工工艺及质量控制标准仍需进一步的研究和实践积累。

此外，中国在沙漠地区应用的水坠砂法，是一种利用水力冲刷和自重密实处理砂土地基的技术。该方法对红砂的适宜性，特别是红砂中细颗粒含量对水力冲刷效果的影响，尚缺乏系统研究，其可行性有待进一步论证。

6.1.3 地基处理厚度应通过下卧层承载力验算确定，并满足沉降控制的要求。下卧红砂层的承载力取值，应采用其饱和状态或施工运营期最不利含水条件下的承载力。基础底面下湿陷程度连续为中等及以上的土层应全部处理。

中国勘察设计协会

【条文说明】建筑地基处理厚度的确定应遵循“承载力控制”与“变形控制”双重原则。当依据中国标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 进行设计时，若地基承载力特征值满足 80kPa≤f_{ak}<130kPa，且建筑为不超过 5 层的砌体承重结构或框架结构，可不进行地基变形验算，此时处理厚度可仅根据承载力验算确定。中美欧规范中均有下卧层验算的要求，《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 规定了双层地基应力扩散法对下卧层承载力的计算方法，美国陆军工程兵团 EM1110-1-1905 规范、FHWA-SA-02-054 规范、UFC 3-220-20 规范、ASCE Foundation Engineering Handbook 均采用双层地基应力扩散法计算下卧层顶面的应力。

本标准对湿陷性红砂的地基基础设计，主要采用“按软化设计”的理念，而非传统的“按湿陷设计”，以规避湿陷量计算不易准确、原状砂样取样可能存在困难等难题。现有工程案例当中，连续中等及以上湿陷程度砂层一般集中于浅部，进行了换填等方式的地基处理，下卧湿陷程度为轻微的红砂按软化后的指标进行工程应对，获得良好效果。为确保安全，本条文提出“基础底面下湿陷程度连续为中等及以上的土层应全部处理”的原则，旨在彻底消除潜在的显著湿陷风险。

6.1.4 地基处理除应满足基础的变形及承载力要求外，尚应综合考虑红砂层的抗水力侵蚀要求。

【条文说明】红砂地基的设计不仅需关注承载力与沉降等力学稳定性，还应重视其在水环境作用下的耐久性与稳定性。通过压密、挤密等地基处理方法，能够显著降低红砂土体的孔隙比，提高其密实度和颗粒间的咬合力。这种物理改良不仅直接提升了地基的承载力和抗变形能力，同时也增强了土体抵抗水流冲刷和渗透侵蚀的性能，减少因雨水或地下水活动导致的土体流失风险。

6.2 换填垫层法

6.2.1 换填垫层材料应优先选用红砂土。当存在多种砂土材料可供选择时，应选用击实曲线形态平缓的砂土作为垫层材料。当设计要求提高垫层的水稳性及承载力时，可采用水泥土，水泥掺量宜通过试验确定，无经验时可取土质量的 5%～12%。

【条文说明】红砂土经压实后具有良好的工程性质，是优良的垫层材料。工程实践表明，压实后的红砂土具有较高的承载力和较好的水稳定性。例如，在安哥拉 Kilamba Kiaxi 项目中，Quleo 砂压实土即使在持续浸水状态下，其承载力特征值仍可超过 300kPa。

在选择垫层材料时，砂土的击实曲线形态是一个重要的判别依据。不同类型的砂土，其

中国勘察设计协会

击实曲线形态存在显著差异:

曲线平缓（开口大）：表明该土样的干密度对含水率的变化不敏感。在施工过程中，即使含水率与最优含水率存在一定偏差，也较容易获得满足设计要求的干密度和压实度，施工质量易于控制。

曲线陡峭（开口小）：表明该土样的干密度对含水率的变化极为敏感。施工时含水率的控制要求非常严格，稍有偏差就可能导致压实度无法满足设计要求，增加了施工难度和质量风险。

因此，本条文建议优先选用击实曲线平缓的砂土作为垫层材料，以确保施工质量的稳定性和可靠性。如图 7 所示，②层砂的击实曲线相较于③1 层和③2 层更为平缓，表明其对含水率变化的敏感性较低，更适合作为垫层材料。

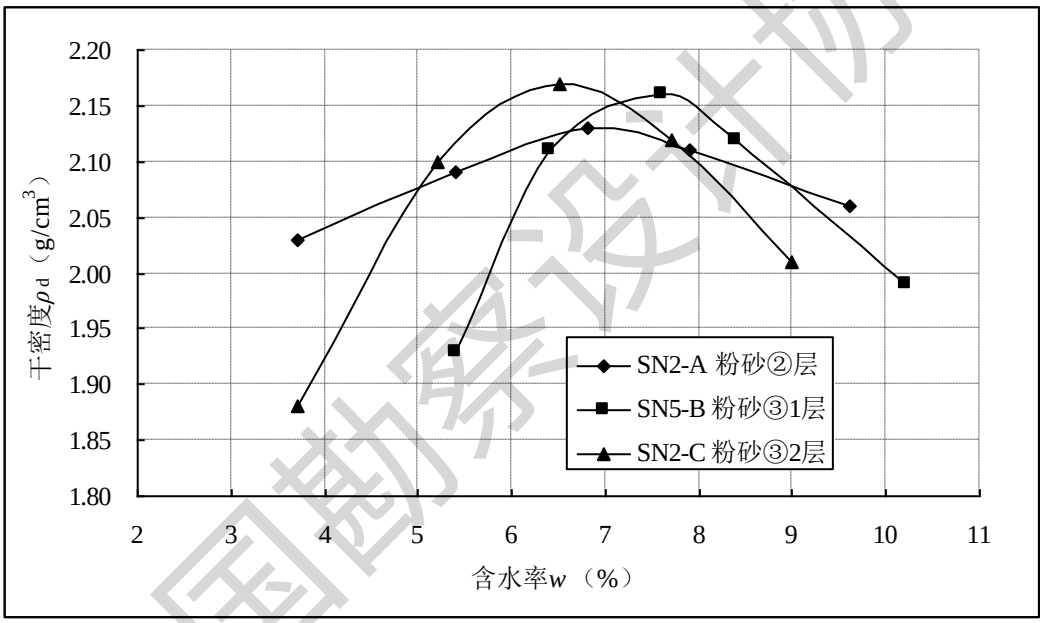


图 7 不同砂土材料的重型击实试验曲线

建筑地基基础按红砂土软化思路设计，垫层法处理红砂地基的有效性已通过现场试验及大量工程实践验证。

现场原型试验验证：为验证垫层法处理红砂地基的实际效果，已在 Kilamba Kiaxi 项目场地开展了 2 组现场原型地基基础浸水试验，分别对 5 层建筑和 9 层建筑采用垫层法地基处理后浸水产生的变形进行了研究。如图 8 为 9 层建筑试验中的地基基础图，垫层厚度、基础形式、基础尺寸均和实际工程一致。试验场地垫层下分布 9m 厚 Quelo 砂，其下为砂泥岩层。试验过程中，通过在基础上堆载钢板（最大基底压力为实际压力的 1.3 倍）并进行试坑浸水，监测基础及周边地面的变形情况。试验结果表明，浸水后地基表现出良好的稳定性:

中国勘察设计协会

基础因下部砂泥岩吸水膨胀而产生 6mm 的微量抬升，但基础相对于周边地面形成了深度仅为 3mm 的沉降槽，总体变形量极小，满足工程安全要求。证明了垫层法在控制红砂地基浸水变形方面的有效性。

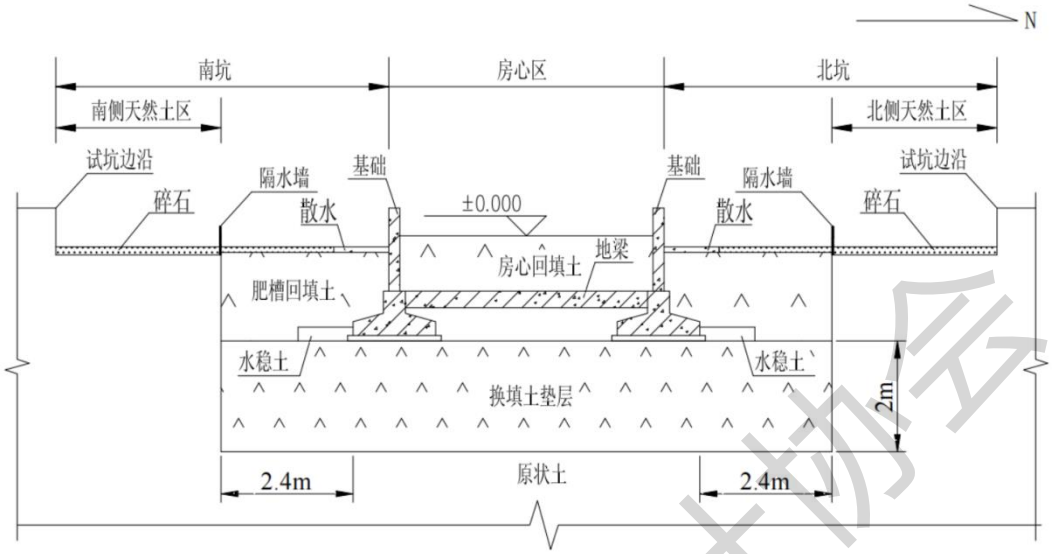


图 8 层建筑模型试验地基基础设计图

工程实践反馈：通过对 20 余个采用换填垫层法处理红砂地基的项目进行运营后调查，结果显示这些建筑物总体运行良好，未出现因地基处理不当引发的结构安全问题。

6.2.2 换填垫层的厚度应根据置换砂土层深度和下卧土层的承载力确定，厚度不宜少于 0.5m 且不宜大于 3.0m。垫层材料的压力扩散角，宜通过试验确定；无试验资料时，红砂垫层可按下列规定取值：当 $z/b<0.25$ 时取 0°，$z/b=0.25$ 时取 10°，$z/b\geqslant0.50$ 时取 25°，$0.25<z/b<0.5$ 时可按线性内插法确定；水泥土垫层可取 28°～30°。

【条文说明】红砂经压实形成垫层后，其力学性能在浸水条件下仍能保持稳定。试验数据显示，压实红砂垫层在持续浸水条件下的变形模量可达 55MPa～83MPa，是天然土浸水条件下变形模量的 3.4 倍～12.2 倍；现场浸水后取样测得的压缩模量约 22MPa，是天然红砂浸水条件下的 5.5 倍。本条文规定的红砂垫层压力扩散角，是基于中国《建筑地基基础设计规范》GB 50007-2011 的框架确定的。具体取值对应于上下土层压缩模量比为 5 时的地基压力扩散角：$z/b=0.25$ 时取 10°，$z/b=0.50$ 时取 25°，z 为基础底面至处理土层底面的距离，b 为条形或矩形基础底面的宽度。

6.2.3 垫层法地基处理应采用整片处理，处理范围每边超出基础外缘的宽度不应小于垫层厚度的 1/2，且不应小于 2m。

中国勘察设计协会

【条文说明】采用整片处理（即满堂处理）可以将整个建筑物范围内的地基土形成一个整体受力的“硬壳层”或“土工筏板”。这种做法具有以下优势：

协调变形：有效调整地基的不均匀沉降，使整个建筑物基础底面的反力分布更加均匀。

防止侧向挤出：对于较厚的软弱下卧层，整片处理能提供侧向约束，防止软弱土从基础侧面挤出。

防水屏障：红砂压实土的渗透系数约为天然土的 1/6，整片处理层可作为一道水平向的防水层，减少雨水或施工用水从基础周边渗入下卧红砂层。处理范围每边超出基础外缘的宽度不应小于垫层厚度的 1/2 且不小于 2m，这一侧向延伸距离对防止下卧红砂层受到水力侵蚀作用也有帮助，进一步保护地基免受水损害。

6.2.4 垫层的压实质量，应用压实系数控制，对于红砂垫层，压实系数不应小于 0.93，计算压实系数的最大干密度应通过重型击实试验确定。

【条文说明】与建筑系统中通常以轻型击实试验为基准控制压实系数不同，本条规定红砂垫层的压实质量按重型击实标准控制。这主要是因为：

抑制水敏性，保证稳定性：红砂遇水后强度易发生衰减（水敏性）。通过采用更高的压实标准，可以有效减少土体孔隙，降低其渗透性和遇水软化的风险，从而保证地基的长期稳定性。

施工可行性：红砂在压实施工中较为容易达到密实状态，具备采用高标准压实的工程条件。

根据中国《土工试验方法标准》GB/T 50123-2019，轻型击实试验的单位体积击实功约为 592.2kJ/m³，而重型击实试验约为 2684.9kJ/m³。Kilamba Kiaxi 项目的试验数据显示，红砂重型击实试验所得的最大干密度可达 2.11g/cm³，明显高于轻型击实试验的约 1.96g/cm³。按本标准控制压实系数，实际上比现行《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025-2018 及《建筑地基处理技术规范》JGJ 79-2012 对类似填料的要求更为严格，能更有效地保证红砂垫层的工程质量和长期稳定性。

6.3 强夯法

6.3.1 强夯法可用于处理地下水位以上的红砂地基。存在对振动和噪音敏感的建构筑物、管线、设备时，应评估强夯法的适用性。

6.3.2 强夯法处理红砂地基，应选择有代表性的场地进行试验性施工，并根据试夯测试结果调整强夯设计参数。

【6.3.1～6.3.2 条文说明】强夯法处理红砂地基的可行性已通过试验研究得到验证。相关试

中国勘察设计协会

验研究同样依托 Kilamba Kiaxi 项目场地开展，共设置了 S1～S4 四个试验场地，每个场地尺寸为 23m×23m。试验方案设计了两种夯击能（1000kN·m 与 2000kN·m）及两种含水率工况（约 7%的预增湿含水率与 5.4%的天然含水率），以模拟不同施工条件。试验结果表明，经强夯处理后，有效加固深度范围内的红砂地基物理力学性质显著提升。成果证实，通过合理控制施工参数和工艺，强夯法能够有效增强红砂地基的工程性能，满足工程承载力与变形控制要求。本节相关设计与施工规定主要基于上述试验研究成果制定。

从工程实践角度看，安哥拉地区采用强夯法处理红砂地基的案例尚处于积累阶段，目前已知的应用项目包括罗安达某工业园区和索约某化工厂房等。鉴于红砂地基的复杂性及工程案例的有限性，进行试夯或试验性施工显得尤为重要。通过现场试夯，可实测不同夯击能级与夯点布置下的夯实厚度及夯沉量，为验证或修正强夯设计参数及施工参数提供直接依据，从而确保地基处理效果切实达到设计预期。

6.3.3 强夯能级应根据设计加固深度、处理深度内地层含水率等因素综合确定。初步设计时强夯能级宜根据当地试验资料或工程经验确定，无试验资料或工程经验时，可按表 6.3.3 选用。

表 6.3.3 强夯能级与夯实厚度对应关系

强夯能级（kN·m）	夯实厚度（m）	
	最优含水率红砂	小于最优含水率≥1.5%
1000	4.0～5.0	3.0～4.0
2000	5.0～6.0	4.0～5.0

【条文说明】 红砂强夯的有效加固深度不仅与夯击能级直接相关，还显著受地基土含水率的影响。试验研究表明，即使地基土含水率小幅增加，其夯实效果也会有显著差异。试验中当红砂地基土的含水率从天然的 5.4%增湿至最优含水率 7%时（增幅不足 2%），在相同能级下，其有效加固深度增加（详见表 7 试验数据）。这主要是因为，当土体处于天然低含水率状态时，特别是地表附近土体在蒸发作用下含水率极低，土颗粒间的吸力作用使其表现出较高的结构强度。强夯过程中，部分能量需用于克服和破坏这种结构强度，导致能量耗散，从而减小了有效加固深度。因此，在设计强夯方案时，必须充分考虑地层含水率的影响，并根据实际情况对能级进行合理选取。

表 7 试验研究有效加固深度

试验区	能级（kN·m）	工况	地基土含水率	有效加固深度

中国勘察设计协会

				（m）
S1	1000	增湿到最优含水率	7%	5
S2	2000	增湿到最优含水率	7%	6
S3	1000	天然	5.4%	4
S4	2000	天然	5.4%	5

6.3.4 强夯法处理红砂地基宜采用整片处理，其平面处理范围超出建筑物基础外缘的宽度，不应小于设计夯实厚度的 1/2，且不应小于 3m。

6.3.5 夯点排布宜按正三角形网格布置。初步设计时夯点中心距可取夯锤直径的 1.2～2.0 倍。

【条文说明】夯点排布包括夯点平面布置形式和夯点中心距。参考中国强夯的经验，夯点的平面布置形式以采用三角形较优。夯点排布的原则是同一遍夯点应尽量远离，以利于土中孔隙水、气有足够的时间排逸，利于强夯土固结增密。试验研究中，采用夯击能 1000kN·m 和 2000kN·m，夯锤直径 2.4 米，夯点中心距为 4.0m，取得较好夯击效果。

6.3.6 起夯标高应根据终夯面标高，考虑地基夯沉量及垫层厚度确定。地基夯沉量宜通过试夯测定。

【条文说明】红砂强夯试验研究显示，夯沉量与含水率关系较大，相同夯击能下，夯点累计夯沉量可相差 40%，夯沉量试验结果如下表。

表 8 Kilamba Kiaxi 项目场地强夯试验夯沉量

试验区	能级（kN·m）	工况	夯点累计平均夯沉量（m）	地表平均夯沉量（cm）
S1	1000	增湿到最优含水率	1.07	61
S2	2000	增湿到最优含水率	1.54	92
S3	1000	天然	0.64	55
S4	2000	天然	1.07	69

6.3.7 全部点夯可一遍夯击完成，点夯完成后推平场地，应采用低能级满夯一遍。满夯锤印搭接长度为夯锤直径的 1/3，满夯每个夯点宜为 2～3 击。

【条文说明】红砂孔隙水压力消散较快，故夯点可按顺序 1 遍夯击完成。强夯法主夯（所排夯点的夯击）主要是将夯坑底面以下夯实厚度内的地基土层夯实，而满夯拍平主要解决夯坑底面以上的填土和表层松动土层的夯实。

中国勘察设计协会

6.3.8 每个夯点的连续夯击次数，应根据试夯或试验性施工夯击数与夯沉量关系曲线、最后两击平均夯沉量、夯坑周围地面隆起程度等因素综合确定。

【条文说明】参考国内大量的强夯试验及工程实践资料表明，存在一个“最佳夯击次数”,即夯击效果和经济性之间的一个平衡点。试验场地得出的最佳夯击次数和最后两击夯沉量平均值 Δs 如下：

表 9 Kilamba Kiaxi 项目场地强夯试验夯击数

试验区	能级（kN·m）	工况	最佳夯击数（击）	最后两击夯沉量平均值 Δs（cm）
S1	1000	增湿到最优含水率	10 ~ 12	≤4.0
S2	2000	增湿到最优含水率	11 ~ 13	≤5.0
S3	1000	天然	7 ~ 9	≤3.0
S4	2000	天然	10 ~ 12	≤4.0

6.3.9 强夯后的地基承载力特征值应根据现场浸水载荷试验结果确定。

【条文说明】试验研究结果表明，虽然强夯能显著改善红砂土的工程性质，但处理后的红砂土仍可能表现出明显的水敏性。现场试验数据显示，强夯后地基土在天然含水状态与持续浸水状态下的承载力特征值存在巨大差异。在 S1 ~ S4 试验区，强夯后天然含水状态下的承载力特征值分别为 700kPa、>800kPa、700kPa 和>900kPa；而在持续浸水条件下，其承载力特征值分别衰减至 270kPa、400kPa、150kPa 和 220kPa，降幅显著。此外，对强夯后地基进行钻孔取样和湿陷性试验也证实，部分红砂土仍具有轻微湿陷性，其中 S3 和 S4 区的红砂土湿陷系数仍普遍大于 0.015。

鉴于强夯后红砂土在浸水条件下承载力会大幅衰减，并可能残留湿陷性，为确保地基在不利水文条件下的安全与稳定，应通过现场浸水载荷试验来确定其承载力特征值。

6.3.10 强夯地基宜在基底下设置红砂垫层或者红砂水泥土垫层，垫层厚度可取 300mm～500mm 或根据计算确定。

中国勘察设计协会

7 施工

7.1 一般规定

7.1.1 红砂场地上建筑地基基础工程施工前，应完成现场调查、资料收集及施工条件准备工作，主要包括以下内容：

1 查明场地范围内及邻近区域的既有建筑物分布、障碍物情况、地下管线及地下埋藏物；

2 查明施工场地内的植被类型与分布、红砂冲蚀范围及程度、蚁穴范围及危害程度；

3 收集红砂分布深度及以下地层岩性的含水率和渗透系数；

4 落实建筑场地内施工与生活用水、施工用电等基础设施，确保满足施工要求；

5 对需要大面积回填处理的红砂场地、红砂路基线状道路等工程，应调查并确定满足储量和运距要求的红砂土料场；

6 收集主要施工机具及其配套设备的技术性能资料。

【条文说明】安哥拉红砂建设场地分布广泛，罗安达、本戈、北宽扎、扎伊尔、库内内等省份均有分布，分布条件各异，工程实践发现，红砂场地在勘察和施工期间主要的问题如下：

（1）部分场地有废弃的建筑物和地下埋藏物如渗井、储水池等；

（2）部分场地内地形起伏较大，在长期降雨冲蚀下，形成了长度、宽度和深度不一的冲沟；

（3）部分场地内蚂蚁活动强烈，蚁穴呈进化型，在建设场地内广泛分布。

近些年，红砂建设场地施工用电和用水矛盾较为突出，多数建设场地施工用水和施工用电困难，需自备大功率发电机和深井施工采取深层地下水，施工前应做好相应的筹划工作。

7.1.2 建筑地基基础施工应符合下列规定：

1 确定建筑场地施工范围后，应进行场平工作，清除场地内表土、耕植土、植物、树木、拆除建筑物残留基础、建筑垃圾、生活垃圾、蚁穴等。

2 红砂作为回填材料，不应含有植物根系、建筑垃圾和生活垃圾等杂物。

3 红砂场地内施工，临建及材料堆放布置应严格按照用地红线和设计要求执行，对有遗留地雷和未爆炸弹药污染问题的建设场地，应在相关机构完成排雷

中国勘察设计协会

工作，按照排雷证书确定的用地范围开展施工活动。

4 材料堆放场地或库房、构件加工工棚、重型卡车、重型吊车、重型罐车行走的场地，应压实整平。

5 建筑材料堆放位置、场地内临时车辆行驶道路应与开挖基坑边缘的距离不应小于 10m。

【条文说明】选用红砂作为回填材料时，应注意红砂层下部土往往不能作为回填材料。红砂层下部的砂土虽与红砂同处同一地质单元，但其颗粒组成和物理力学性质存在差异，该土层通常黏粒含量较高、级配不良，导致可压实性弱于红砂土，不属于本标准确定的适用填料。现场可通过颜色快速识别：红砂多呈均质红色，而下部砂土常呈现白、黄、红混合的杂色，层理间可见明显色差，据此可与典型红砂土区分。

安哥拉内战期间，在交通要道大量布设地雷。本格拉铁路、罗安达至马兰热铁路以及多条主要公路沿线曾广泛布雷。万博、比耶、莫希科、威拉、北隆达等省是地雷污染的重灾区。据统计，目前已清除了约 10 万枚地雷，但仍有大量雷区。在公路、输变电线路等工程建设中，需要重点关注军事活动遗留的灾害问题。

7.1.3 施工宜在旱季进行，如在雨季施工时，应制定专项施工方案。

【条文说明】安哥拉位于非洲西南部，气候主要受热带干湿季气候和沿海沙漠气候影响，雨季和旱季分明。雨季降水占全年降水的 80%以上，尤其以 11 月到次年 3 月为高峰，北部地区如罗安达、卡宾达雨季更长，雨量更充沛，年降水量可达 800-1500mm。红砂地区雨季施工雨季降雨强度大、持续时间长，可能导致施工现场淹水、基坑积水，未硬化道路在雨中迅速泥泞化，运输车辆通行困难，降雨频繁导致露天作业频繁中断，工期不确定性增加。在雨季进行施工时应制定专项施工方案。

7.1.4 基坑或基槽开挖至设计标高时，应进行技术性验槽，验槽可包括如下内容：

1 检查红砂地基土的颜色、结构、夹杂物、异常物等，与岩土工程勘察报告是否相符；

2 检查是否有地下水的变化；

3 确认开挖深度是否符合要求；

4 对地基土或回填土料进行分类和测试；

5 通过原位测试，检查地基土的均匀性；

6 施工过程中，核实是否按照勘察设计的规定使用了合适的材料和施工方法。

【条文说明】中国《岩土工程勘察规范》GB50021-2001（2009 版）第 13.2 节，美国 International

中国勘察设计协会

Building Code (IBC2021)标准中 1705.6 条，BS5930:2015+A1:2020 标准第 11 节和 BS EN1997-1:2024 标准附录 B.5 均有关于验槽的要求和规定。红砂地区基坑（槽）开挖后，检查设计标高位置的地层、地下水位是否和勘察期间有较大的变化等是必要的工作。结合国外勘察技术工作体制与中国的差异性，本标准规定了具体的验槽内容，从中国的程序性验槽转变为技术性验槽，验槽内容从观察法转变为观察结合测试，切实保障地基验槽工作的准确性和有效性。

7.2 地基处理和桩基施工

I 换填垫层施工

7.2.1 红砂垫层施工时应符合下列规定：

1 垫层施工前，宜进行碾压试验，垫层材料的含水率宜控制在 w_{op}±2%的范围内；

2 施工期间，垫层施工应采取、防雨和防暴晒等措施，垫层施工结束工后，如不能及时进行下一道施工工序时，应采取必要的防护措施，防止垫层表层直接暴晒、雨水或施工用水浸泡，直至完成基础施工；

3 垫层的分层虚铺厚度应根据压实机械的能力确定，建（构）筑物工程地基每层铺填厚度不宜大于 300mm；给排水管道、排污渠道等线状工程管顶以上每层铺填厚度不大于 150mm；

4 垫层土料中不得含有植物根系、建筑垃圾、生活垃圾等。

【条文说明】安哥拉红砂地区工程实践和 Kilamba Kiaxi 项目场地科研成果，当红砂摊铺厚度为 50cm，采用 19.05t 碾压设备时，碾压后垫层的四个角点和中心点压实系数均小于 0.95，需要反复碾压后压实系数才能达到 0.95，罗安达多数工程实践经验显示，碾压时摊铺厚度 30cm 左右，采用 18-25t 碾压设备，碾压 3 遍后压实系数均能达到 95%，一般工程建议摊铺厚度按 30cm 控制。管道管井管顶以上 50cm 范围内多采用蛙式夯轻型设备夯实，摊铺厚度不宜太厚，按照工程经验，一般控制在 15cm 为宜。

7.2.2 垫层材料宜利用就地挖出的红砂或外部土料场的红砂。

【条文说明】一般红砂建设场地，就地开挖的红砂即可作为垫层材料，对于大面积回填的场地，需要在外部寻找满足设计要求的红砂土料场。

7.2.3 对增湿拌合至最优含水率附近的红砂垫层土料，宜堆置使其含水率均匀，堆置时间不少于 72h。堆置期间应对拌合后的红砂垫层土料表层遮盖，防止水分

中国勘察设计协会

流失，并应做好排水措施。

【条文说明】红砂小于 0.075mm 的含量较高，砂土颗粒间有一定的水分子以表面张力方式相互黏结，砂颗粒与粉黏粒不易分离。要达到良好的压实状态，除了加水至最优含水率附近拌和均匀外，需要将拌好的红砂土料堆置使其达到含水率均匀状态，俗称“闷土”。工程经验表明，拌好后的红砂土料堆闷 72h 可达到最佳效果。

7.2.4 压实施工过程中，接头部位应分层交错搭接，搭接长度不小于 2m。在施工缝的搭接处，应增加压实遍数，边角及转弯区域应采取其他压实措施。

【条文说明】垫层施工分层搭接属于基本施工原则，红砂垫层施工如果各层接头在同一位置垂直对齐，会在该位置形成一个连续的薄弱面或接缝，容易导致应力集中，产生开裂风险；连续的接缝可能成为水或其它流体渗透的通道，影响防渗性能；结构或土体的整体强度和均匀性降低。分层交错搭接可使荷载分散、材料连续性增强，交错搭接也能使沉降更均匀分布，减少差异沉降。

7.2.5 施工过程中宜根据设备情况合理划分施工区段，防止施工段过长碾压不及时造成填料快速失水问题；碾压时应控制碾压速度，防止浅表层填土产生局部隆起与推挤变形。

【条文说明】安哥拉红砂地区常年温度介于 24~28º C，红砂持水能力差，很容易在较高的温度下失水，红砂的摊铺厚度一般为 300mm，如果摊铺长度太长，碾压速度跟不上情况下，很容易失水干燥，碾压过程中容易龟裂；碾压速度过快，填土因碾压荷载产生剪胀与侧向位移，引发土体结构重塑，在压实能量传递下，土颗粒受挤压发生重分布，容易造成局部隆起与推挤变形，施工过程中严格控制碾压速度。

7.2.6 垫层地基施工宜使用钢轮压路机或羊足振动碾，质量宜为 18t～25t，并采用进退错距碾压，相邻碾压条带搭接宽度为轮宽的 1/3，且不少于 300mm，振动碾压宜为 6 遍～8 遍。给排水管道、排污渠道等作业空间小的线状工程垫层地基处理，宜采用 3t 以下的小型振动碾或蛙式打夯机。

【条文说明】公路及一般的建筑场地采用碾压处理时，工程经验及科研成果显示，摊铺厚度 30cm 时，采用质量小于 18t 的振动碾时，碾压 5 遍后检测，压实系数难以达到 95%。一般工程摊铺厚度为 30cm 时，采用钢轮压路机，采用静压 1 遍，小振 1 遍，大振 1～2 遍，最后小振 2～3 遍收光结束，或采用羊足振动碾大振 5～6 遍，钢轮压路机静压 1 遍，小振 1 遍收光，均取得比较好的碾压效果。

中国勘察设计协会

7.2.7 采用掺和水泥土施工的道路工程垫层，施工后应对垫层采取洒水养护措施，养护时间不少于 7d。

【条文说明】工程经验显示，道路工程水泥土垫层施工时，水泥土含水率降低较大时，道路强度下降不是很明显，但是基层的表面容易出现细微裂缝，且裂缝随含水率的降低增多而延伸。研究发现，基层材料的干缩和温度收缩是引起基层结构产生横向裂缝的主要原因，水泥土垫层施工后进行洒水养护就较为重要。

7.2.8 施工碾压过程中出现橡皮土、浸水软化、脱皮或推挤变形现象时，应根据含水率情况，通过翻松晾晒、洒水增湿或置换填料及调整碾压速度等措施调整含水率，再进行碾压。

【条文说明】红砂填筑过程中，拌合不均匀、“闷土”时间不充分、洒水不均匀、摊铺长度过长、土料晾晒时间长、碾压速度过快等，容易出现橡皮土、浸水软化、脱皮或推挤变形等问题，应及时查清原因，调整施工措施。

II 强夯施工

7.2.9 强夯法处理红砂地基前的试验性施工应符合下列规定：

1 试夯点的数量，应根据建筑场地的复杂程度、土质均匀性和建筑物类别等因素综合确定；

2 试验性试验时，可开展天然含水状态和增湿状态的强夯对照试验，增湿试验宜采用直接漫灌法；

3 试夯过程中，应测量每个夯点每夯击 1 次的下沉量；

4 统计夯前整平后的地表高程，试夯完成后，对夯后地表高程测量，与夯前测得地表高程对比，得出地表平均夯沉量；

5 试夯试验前在试验场地天然地层钻探进行取样，每隔 0.5m 取样测试天然状态下的含水率、干密度、孔隙比、压缩系数和湿陷系数，相同深度取平均值。试夯试验结束后取样深度以原始地表高程为准，取天然地层地表下间隔 0.5m 土样测试试夯后的含水率、干密度、孔隙比、压缩系数和湿陷系数，相同深度取平均值，与试夯试验前土的试验成果进行对比，判断强夯处理效果；

6 应开展试夯试验前后浸水标准贯入试验或浸水动力触探试验，测试结果不满足设计要求时，可调整夯锤质量、落距、夯击次数等参数，重新试夯。

【条文说明】科研成果显示，采用直接漫灌法增湿后，从其增幅程度及强夯影响深度上看，

中国勘察设计协会

强夯能级越大，含水率越接近最优含水率，地基土的密实度越好，干密度增大及孔隙比减小的幅度越明显，强夯影响深度越大。同时，增湿后强夯，与未增湿强夯湿陷性和渗透试验比较，增湿后强夯地基处理湿陷系数有较大程度的降低，渗透系数也有较大幅度的减小，必要时可开展增湿后的试夯试验。

动力触探试验能获得连续的击数随深度曲线，对于判断强夯的有效加固深度具有意义。

7.2.10 增湿强夯场地，增湿注水量可参照《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025的有关规定计算，损耗系数应大于 1.00，增湿浸润时间宜按含水率要求控制。

【条文说明】红砂持水能力差，按照《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025-2018 计算公式计算增湿加水量时，注水损耗系数要大于 1.00，科研成果显示，进行增湿试验时，损耗系数取 1.07 时含水率能够接近最优含水率附近。通过采用浸灌法和钻孔+浸灌法对比，发现达到最优含水率，浸灌法用时为 26d，而钻孔+浸灌法用时为 6d 左右，但钻孔+浸灌法容易出现含水率分层现象，因此一般推荐使用浸灌法，但浸灌法一般时间较长。

7.2.11 强夯正式施工采用的夯锤质量、落距、夯点布置、夯击次数和夯击遍数等参数，应与试夯选定的相同。

7.2.12 强夯过程中应监测夯坑深度、地面隆起和夯沉量。

【条文说明】《建筑地基处理技术规范》JGJ79-2012、美国 FHWA-NHI-16-027 标准、英国 BRE BR458 Specifying Dynamic Compaction 标准均有强夯过程中监测要求，监测项目基本一致，对夯坑深度、地面隆起、平均夯沉量、孔隙水压力、振动均有要求，根据工程实践和科研经验，红砂中孔隙水压力消散比较快，可不考虑孔隙水压力的影响，重点监测夯坑深度、地面隆起和平均夯沉量。其中美国 FHWA-NHI-16-027 标准对夯坑深度和平均夯沉量提出了量化规定，其中夯坑深度大于锤高加上 0.3m，需要停止强夯，场平后再进行强夯，强夯前后，按网格方式测量强夯沉降量。除填土外，夯沉量应为设计加固深度的 5%至 10%。实际工程项目中，可参照 FHWA-NHI-16-027 标准执行。

7.2.13 当强夯施工所产生的振动对邻近建（构）筑物或设备产生有害的影响时，应进行振动监测，采取防振或隔振措施。

III 桩基施工

7.2.14 红砂地区灌注桩施工应符合下列规定：

1 成桩工艺宜采用旋挖成孔灌注桩；

中国勘察设计协会

2 钻头宜采用旋挖斗齿钻头或螺旋钻头，清孔时宜采用旋挖捞砂斗钻头；

3 桩基施工前，应根据岩土工程勘察成果进行试钻孔，确定钻进参数；

4 红砂及下卧地层无地下水，不易塌孔时，宜采用干作业工艺；地下水位以下红砂、红砂下部易塌孔地层岩性，宜采用泥浆护壁钻孔工艺。

【条文说明】旋挖成孔灌注桩工艺在安哥拉红砂地区属于成熟的钻进工艺，一般在没有地下水出露的红砂地层中采用旋挖斗齿钻头或螺旋钻头钻进，水位以下钻进清孔时基本用旋挖捞砂斗钻头，工程经验表明，旋挖成桩质量好。红砂底界岩性多为风化岩及花斑状砂土等，地下水位多赋存于红砂及底界岩性接触面位置，部分地下水位以下风化岩容易塌孔，需要进行泥浆护壁工艺。

7.2.15 采用泥浆护壁钻孔工艺时，护筒长度不宜小于 2m，泥浆宜采用高分子化学泥浆。

【条文说明】红砂厚度底界岩性多为全风化基岩或砂土，地下水位以下施工时，传统的泥浆护壁作业时，容易出现沉渣快速沉淀，清孔难度大，沉渣超过规范要求，成桩质量较差，采用高分子化学泥浆能够有效的保护孔壁稳定，提高钻渣和沉渣的悬浮，也能减少泥浆的漏失。

7.2.16 采用泥浆护壁钻孔工艺时，宜配备泥浆净化器，钻进的过程中应加强钻孔泥浆的相对密度、黏度、含砂率等检测频率。钻孔过程中还应经常注意地层变化，根据地层变化采用不同的钻进速度。

【条文说明】红砂底界为砂岩风化物和红砂底界粉黏粒含量低的砂层，泥浆护壁成孔后沉渣较厚，清孔难度大，配备泥浆净化器，能够有效的维持泥浆性能的稳定，实现泥浆循环利用，减少新鲜泥浆的配置量和废弃泥浆的处理。ACI SPEC336.1-24 Construction of Drilled Piers-Specification 表 2.6.2 规定了泥浆检测要求，相对密度、黏度、含砂率是检测钻孔质量的 3 个重要指标，《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 也规定了检测的指标，与 ACI 基本一致，在泥浆护壁施工过程中，应重点检测这几个指标。

7.2.17 灌注桩成孔施工的允许偏差、孔底沉渣厚度应满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

【条文说明】《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 规定了摩擦型桩孔底沉渣厚度不大于 10cm，ACI SPEC336.1-24 Construction of Drilled Piers-Specification 规范规定，桩底至少 50%的区域在浇筑混凝土时沉渣厚度要小于 1/2 英寸（1.27cm）。工程经验表明，红砂地区采用泥浆护壁和配备泥浆净化器施工工艺，很难达到 ACI SPEC336.1-24 规范的要求，采用《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 要求执行，承载力能满足设计要求，宜按照《建筑桩基技术规范》

中国勘察设计协会

JGJ94-2008 要求执行。

7.2.18 成孔后应尽快浇筑混凝土，浇筑过程中不应中断。

7.2.19 废弃的泥浆、沉渣应集中收集处理，不得污染环境。

7.3 其它施工

7.3.1 基础结构施工过程中对施工用水、混凝土养护用水应有组织排放，不得流入建筑底层室内回填土、变形缝、管沟或管井、坑槽内。

7.3.2 地下工程施工至超出设计地面后，应按设计要求及时进行室内外土方回填，回填料应为红砂。设计无要求时，回填土应分层夯实或压实，相对于重型击实试验最大干密度的压实系数不得小于 0.93。

7.3.3 屋面施工完毕，应及时安装天沟、水落管和雨水管道等，并直接将雨水引至室外排水系统。

7.3.4 水池、水沟等应符合防漏、防渗要求，混凝土浇筑时不宜留施工缝。

7.3.5 临时用水管道应做好防漏保护，严禁在基础附近设水龙头。

7.3.6 水池、水塔等溢水装置应与排水管沟联通。

7.3.7 当发现地基浸水湿陷或建筑物产生沉降裂缝时，应立即停止施工，切断有关水源、对建筑物的沉降和裂缝加强观测，并应查明原因。应经处理满足设计要求后，方可继续施工。

中国勘察设计协会

8 质量检验

8.1 一般规定

8.1.1 红砂地基和桩基的检验应符合下列规定：

1 红砂地基和桩基的检验应贯穿确定施工工艺、施工过程控制和最终验收整个施工过程；

2 检验项目和参数应综合考虑地层结构、气候条件，根据地基或桩基类型、地基处理目的及设计要求综合确定；

3 应制定明确的检验数量要求、抽样方法、合格标准。

【条文说明】红砂地基和桩基的验收检测，美国 ASTM 和 AASHTO 标准属于试验方法标准，仅提供试验步骤及操作方法，很少提供检测数量、抽样方法标准，ASCE、FHWA、ACI 等通用标准和规范中也缺少检测和验收时数量、抽样方法的规定；欧洲标准 EN 1997-1:2004 + A1:2013、EN ISO 22477 等通用标准也仅提供试验方法和基本要求，但也未有具体的检测数量、抽样方法等规定。在红砂地区实践中，一般由承包方提交检测技术方案或由咨询方提出检测技术要求，但普遍存在检测数量太多或太少的问题，存在工程风险或经济浪费，有必要制定验收检验时的数量要求、抽样方法和合格标准。

8.1.2 红砂地基和桩基施工应强化施工过程中的监控验收与检测，并应符合下列规定：

1 红砂垫层填料增湿堆置后，含水率平衡过程中，应多点位取样检测含水率；

2 红砂垫层摊铺后，应检测摊铺厚度和长度；碾压过程中，应监测碾压速度、相邻碾压条带搭接宽度、碾压遍数和接头部位搭接长度等；

3 采用增湿强夯施工工艺时，增湿浸润过程中，应检测设计加固深度及以下一定深度的含水率；

4 泥浆护壁成孔过程中，应检测 pH 值、相对密度、黏度、含砂率等指标；

5 旋挖终孔后，应检查钻渣样品，与勘察报告对比，检验桩端持力层，逐孔验收；

6 混凝土浇筑过程中，应检测每车混凝土的塌落度和入仓温度。

【条文说明】科研成果显示，红砂最优含水率在 7%左右，如含水率在 9%时，在进行碾压垫层处理时，容易出现橡皮土，强夯时，含水率高于 7%后，出现提锤困难问题，因此需要

中国勘察设计协会

在确定施工工艺、施工过程中，以及在施工结束后应全程检测验收，这是保障地基处理效果的关键，不能简单的只重视结果验收，而忽略过程验收;

红砂地区桩基施工时，红砂底部地层较为复杂，红砂底部为砂土或砂岩等风化物时，成孔过程中容易塌孔，含砂量较高，如果施工过程泥浆净化或对桩底沉渣控制不严格时，桩的承载力就存在较大的疑问。目前，《建筑桩基技术规范》JGJ94-2008 规范有相应的施工过程检验检测要求，EN1536-2010+A1-2015 规范附录 B 提出了钻进过程、钢筋笼制作安装、混凝土浇筑、桩头修整等整个过程检测验收要求。

因此，需要强调的是，红砂地区的地基和桩基的验收检验应贯穿于整个施工过程，这是保证施工质量的关键。

8.1.3 承载力应通过静载荷试验确定，并应符合下列规定：

1 强夯地基承载力应通过持续浸水平板荷载试验确定，采用其他方法检测地基承载力时应为持续浸水状态或最不利的含水状态，且有本场地同条件下持续浸水平板荷载试验对比结果；

2 垫层、强夯地基需要做湿陷性评价时，宜采用取土室内试验并结合现场持续浸水载荷试验；

3 桩基承载力应通过载荷试验确定；对承受显著循环荷载的桩基，应进行多级循环荷载的静载荷试验。

【条文说明】近些年，安哥拉道路和工业建筑发展迅速，桥梁、水泥厂、化肥厂等承受显著循环荷载的上部结构显著增多，咨询方要求采用多级循环荷载的静载荷试验对桩的承载力进行验证，现有多项工程经验，咨询方给出的多级循环荷载的静载荷试验加载方式多为以下几种加载方式:

1. 0%-25%-50%-75%-100%-75%-50%-25%-0%-100%-150%-200%-250%-200%-150%-100%-50%-0%;

2. 0%-25%-50%-75%-100%-75%-50%-25%-0%-100%-150%-100%-50%-0%;

3. 0%-25%-50%-75%-100%-75%-50%-25%-0%-100%-150%-200%--150%-100%-50%-0%。

多级循环荷载的静载荷试验加载方式并非固定，实际工程中，应根据设计要求和结构性能等多方面考虑，确定最终的加载方式。

8.1.4 当检验结果或合格率不满足设计或标准规定时，应查明原因或扩大检测，并根据扩大检测结果和原检测结果对地基进行综合评价。

中国勘察设计协会

8.2 处理地基质量检验

8.2.1 红砂场地垫层应重点检验承载力和压实系数等参数，并应符合下列规定：

1 承载力的检测数量应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的有关规定；

2 压实系数检测应分层取样，取样数量应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的有关规定；

3 压实系数检测点平面位置应随机布置，并应具有良好的代表性，中部、边缘和四角均应布设检测点，每层应错开位置；环刀取样位置应在每层表面下 2/3 厚度处；

4 对水泥土垫层，可检测水泥土的配合比，根据实际水泥土配合比击实试验成果计算压实系数；

5 建筑物采用标准贯入或动力触探检验时，检验点的间距应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的规定，道路、给排水管道等线状工程，检验点的间距可适当放大。

【条文说明】美国 ASTM、AASHTO 标准仅提供检测方法和实施步骤，ASCE、FHWA、ACI 标准不提供垫层地基检测数量、抽样方法标准，欧洲标准 EN 1997-1:2004 + A1:2013、EN ISO 22477 等通用标准也仅提供试验方法和基本要求，但也未有具体的检测数量、抽样方法等规定。《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025-2018 规定的取样数量和抽样方法，能够满足一般工程的要求。

8.2.2 强夯地基应检验承载力和夯实土的物理力学指标，并应符合下列规定：

1 承载力的检测数量宜符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的有关规定；

2 取样检测地基土的物理力学性质及湿陷性指标，检测点数量宜符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的有关规定。宜采用薄壁取土器静压取样，取样位置宜在相邻夯点中间空隙处；取样深度应至设计夯实厚度下 1m，竖向取样间距宜为 0.5~1.0m；

3 采用标准贯入或动力触探试验检验时，检验点的数量宜符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025 的规定。

【条文说明】中国针对强夯法有较多的国家、行业和团体标准，各标准根据实践经验规定了

中国勘察设计协会

强夯法地基处理详细的验收与检测要求，美国针对强夯法制定的通用标准为 FHWA-SA-95-037，FHWA NHI-06-019 标准在实践基础上，对 FHWA-SA-95-037 标准的内容进行了继承和扩展，针对强夯法有较为详细的介绍，但仅提出了检测方法，未提出相应的检测要求，美国著名岩土学家 Han Jie 在其著作《Principles and Practices of Ground Improvement》中提出了要对强夯后的地基进行检测，但也未说明具体的抽样方法和数量要求。欧洲标准 EN 1997-1:2004 + A1:2013、EN ISO 22477 等通用标准仅提供试验方法，英国 BRE BR458 Specifying dynamic compaction 标准、CIRIA Pub C573 Guide to ground treatment 标准也没有相应的检测数量等方面的规定。罗安达和 Soyo 红砂地区强夯项目采用《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025-2018 规定的验收与检测要求，具有良好的适用性，能够保证工程安全。

8.2.3 强夯地基施工质量检测除符合本标准 8.2.2 条规定外，还应符合下列规定：

1 应分层取样检测红砂的含水率、干密度、孔隙比、压缩系数和湿陷系数；

2 应开展浸水标准贯入试验或浸水动力触探试验；

3 应开展持续浸水状态下的平板载荷试验；

4 对于渗透有要求的建筑物地基，应开展现场注水试验，确定强夯后的渗透系数。

【条文说明】红砂含水率的变化对承载力、原位测试指标、湿陷性指标等具有显著影响，含水率增加，湿陷系数和力学指标都有较大幅度的减弱，尤其是地基承载力明显降低，即使经过强夯加固处理，地基承载力衰减幅度依旧较大，在进行施工质量检测时，需要考虑到红砂地区地下水的复杂性，按照浸水状态评价其力学性能是合适的。

8.3 桩基质量检验

8.3.1 红砂地区桩基施工完成后应对桩身质量进行检验，宜选用低应变法，应检测全部试桩和工程桩。

【条文说明】中国《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 规范要求基桩施工完成后，应抽取一定数量的基桩进行低应变测试，判断桩的完整性；美国 ASTM D5882-16 规定了低应变法基桩检测的详细方法；欧洲标准 EN1536-2010+A1-2015 中 9.2.3 条要求对钻孔灌注桩进行完整性检测，但欧洲标准 EN ISO 22477 系列目前没有专门针对低应变法制定的标准，英国 CIRIA Report144 Integrity testing in piling practice 报告中提供了基桩检测的详细方法。目前，安哥拉红砂地区通常使用的基桩检测标准为美国 ASTM D5882-16，一般情况下，咨询方多要求对试桩和工程桩进行 100%的检测。

中国勘察设计协会

8.3.2 灌注桩采用低应变检测后，桩身有明显缺陷或难以判断桩身完整性时，宜采用钻芯法进行验证，并应符合下列规定：

1 应采用单动双管钻具，钻头应采用金刚石钻头；

2 钻芯法岩芯采取率不应低于 90%；

3 取芯直径不应小于 100mm，抗压芯样高径比宜根据设计要求和施工检验方法综合确定；

4 受检桩的钻芯孔数、钻孔位置、取样测试方法宜符合现行行业标准《建筑基桩检测技术规范》JGJ106 的有关规定。

【条文说明】《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 规定了取芯采用金刚石钻头，试验样品直径不小于 100mm，抗压芯样高径比 H/D 为 0.95 至 1.05 之间；ASTM C42/C42M-20 标准规定取芯采用金刚石钻头，试验样品直径不小于 94mm，抗压芯样高径比 H/D 为 1.9～2.1 之间，当试验的抗压强度与标准混凝土立方体的规定强度进行比较，则应以长径比 L/D 在 1.00 至 1.05 的范围内进行测试; BS EN 12390-1:2012 规范规定试验样品直径不小于 100mm，BS EN12504-1:2019 规范规当芯样抗压强度结果与圆柱体强度比较，则为高径比 H/D 为 2.0，若强度结果与立方体强度比较，则高径比 H/D 为 1.0。

8.3.3 桩基承载力检验可采用单桩静载试验或高应变法，并应符合下列规定：

1 承载力检测前的休止时间不宜小于 7d；

2 试桩阶段，地层结构相同的场地，试桩静载荷试验数量不应少于 3 根；试桩阶段宜结合高应变法进行单桩承载力验收检验，同一条件下高应变法试桩数量不少于静载试验试桩数量；

3 施工阶段，地层结构相同的场地，工程桩静载荷试验数量不应少于 3 根；施工阶段宜结合高应变法进行单桩承载力验收检验，同一条件下高应变法试桩数量不少于静载试验试桩数量。

【条文说明】《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106-2014 规定了进行承载力检测的休止时间，砂土地层中基桩的休止时间不少于 7d；ASTM D1143/D1143M-20 标准没有关于静载荷试验休止时间的规定，ASTM D4945-17 标准提出采用高应变法检测时，承载力可能受休止时间的影响，但并未规定休止时间；BS EN ISO22477-1:2019 标准规定了基桩静载荷试验的休止时间，对于砂土不少于 7d，BS EN ISO22477-4:2018 标准规定砂土中试桩高应变试验的休止时间为 7d，工程桩高应变试验的休止时间为 5d。根据红砂地区实践经验，红砂持水能力差，孔隙水压力消散速度快，按照《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 或 BS EN ISO22477 标

中国勘察设计协会

准规定的休止时间是合适的。

8.3.4 承受上拔力和水平力较大的桩基，应进行单桩竖向抗拔和水平承载力检测，试桩数量不应少于 3 根。

【条文说明】近些年，随着安哥拉工业的发展，体型复杂大荷重的石油化工、燃油电站等项目建设增多，需要用到桩基，部分位置由于偏心荷载或水平荷载作用，桩基需要承受水平推力或上拔力，单桩竖向抗拔和水平承载力试验逐渐增多。中国《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 规定了抗拔和水平静载试验的试验方法和数据分析；ASTM D3966/D3966M-22 规定了基桩水平承载力试验方法，ASTM D3689/D3689M-22 规定了基桩抗拔承载力试验方法；欧洲标准 BS EN ISO22477-2:2023 规定了关于桩的抗拔承载力检测方法，但欧洲标准未有水平向承载力检测的标准。工程实践中，ASTM 标准的使用较为广泛，但单桩竖向抗拔和水平承载力试验方法、加载方式等与《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 有较大的差异，实际执行时应按照合同规定标准执行。ASTM 标准未规定试验数量，根据工程统计资料，已开展单桩竖向抗拔和水平承载力的工程项目，每个试验的数量均不少于 3 个，本规定单桩竖向抗拔和水平承载力数量《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 保持一致。

8.3.5 桩身完整性检测结果评价，应给出每根受检桩的桩身完整性类别。桩身完整性分类应符合表 8.3.5 的规定。

表 8.3.5 桩身完整性判断标准

桩身完整性	分类原则	低应变测试
I	桩身完整	清晰的桩底反射，无明显缺陷，桩截面的缺陷小于 20%
II	桩身有轻微缺陷，不会影响桩身结构承载力的正常发挥	桩底反射波较为明显，有轻微的缺陷反射波，需要进行额外的试验来验证桩的完整性和承载能力
III	桩身有明显缺陷，对桩身结构承载力有影响	有明显的缺陷反射波，承载力可能会降低，需要详细验证其缺陷位置和承载力，或降低承载力使用
IV	桩身存在严重缺陷	无桩底放射波，桩身浅部混凝土质量差或浅部严重缺陷等，修复后重新检验或补桩

【条文说明】《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 根据长期的实践经验，形成了详细的

中国勘察设计协会

基桩完整性分类，能够较好的指导实际生产活动。ASTM 标准属于试验标准，未提供关于基桩的分类方法。

ASTM D5882-16 标准中规定，在该领域有专业经验的工程师将进行最终的完整性评估，结合桩的成桩顺序、观测记录、土体信息、荷载要求等等，评估桩的可接受程度，低应变完整性试验评价不宜作为确定基桩验收或拒收的唯一因素。

欧洲 BS EN 系列的标准中，也没有桩身完整性的分类标准。英国 CIRIA Report144 Integrity testing in piling practice 提供了基桩检测的详细方法，并提供了详细的低应变曲线分类标准，见下表 10。

表 10 CIRIA Report144 基桩低应变完整性分类

信号类型	特征
0 型信号	信号穿透深度内阻抗无变化
1 型信号	一次清晰阻抗变化
2 型信号	不止一个阻抗变化

在国外的一些论文中，一些学者按照美国 PIT 公司生产的 PIT 基桩测试仪检测成果，对基桩的完整性进行了分类，并做了一些具体的分析说明，例如 Mahesh Hingorani 的论文《Interpretation of Low-Strain Pile Integrity Test Results》、Frank Rausche 等完成的论文《Formalized Procedure for Quality Assessment of Cast-In-Place Shafts Using Sonic Pulse Echo Methods》，对基桩的完整性进行了分类，分类方法一致，见下表 11。

表 11 Mahesh Hingoran、Frank Rausche 基桩低应变完整性分类

信号类型	特征
A 类	桩底反射清晰，无明显缺陷
B 类	明显存在严重缺陷，桩底反射通常不明显
C 类	桩身可能存在缺陷，但桩底反射明显
D 类	数据不确定

通过对比《建筑基桩检测技术规范》JGJ106、CIRIA Report144 和 Mahesh Hingoran、Frank Rausche 等学者的基桩完整性分类，发现差异性较大，尤其是《建筑基桩检测技术规范》JGJ106-2014 和 Mahesh Hingoran、Frank Rausche 学者的分类方法，存在这分类等级不匹配的问题。另外，CIRIA Report144 只对低应变信号进行了分类，但不能用于进行桩身分类，实际生产中应用较为困难。因此，鉴于中国、美国和欧洲标准对桩身完整性规定的差异性，

中国勘察设计协会

有必要对桩身完整性进行一个初步的分类，方便于工程项目各参建方形成初步统一意见。

中国勘察设计协会

9 运营维护

9.1 一般规定

9.1.1 红砂地区应建立系统性巡检和监测制度，对建筑物、市政基础设施、排水系统等在建成运营期间，应按照技术标准和设计要求进行相应的检查和维护。

【条文说明】本条文旨在要求对水敏性红砂地区的建筑物实施主动、系统性的运营期管理。红砂的水敏性、结构不稳定、易受水蚀等特殊工程地质特性，处理后的地基性能会随着使用条件而变化。建立制度化、规范化的巡检与监测体系，是预防性维护的基础，能早期发现潜在缺陷、性能退化或安全隐患，避免小问题演变为大的工程灾变，从而保障结构安全、功能完整和延长使用寿命。

9.1.2 工程周边水环境发生改变，既有建筑物的防护范围内增添或改变用水设施，可能引起工程地基浸水或地下水位变化时，运营管理单位应搜集有关资料，并会同原设计单位对建筑物的影响做出评估，根据评估结果采取相应措施。

【条文说明】红砂地基对含水率变化敏感，灌溉、环境绿化、渗井污水、排水系统改造、管道渗漏、红砂冲蚀等水环境的改变，均可能导致水位上升，这些因素导致地基土软化、承载力下降。针对地下水和地表水环境变化核心风险点，规定了管理责任和应对程序。

9.1.3 建成项目运营期间，应检查红砂冲蚀和白蚁对建筑物及周边环境的影响。

【条文说明】红砂冲蚀与白蚁侵害这两类典型且易被忽视的长期危害，应在建筑物全寿命使用期内，建立主动、定期的检查制度。

安哥拉热带红砂地区的气候条件适宜白蚁繁衍，其对木结构及部分材料的侵害具有隐蔽性强、破坏力大的特点，定期检查是实施早期干预、防止危害积累、保障建筑安全与耐久性的必要措施。

红砂冲蚀容易出现在建筑物与红砂地基、边坡直接接触或易受地表径流影响的部位。主要包括：建筑物散水、外墙根部、排水明（暗）沟及其出口、埋地管道回填部位、场地边坡、挡土墙墙脚及墙背回填区域、硬化铺装与绿化交接处等，应检查是否存在因地表水、地下水冲刷形成的冲沟、塌陷、洞穴、凹槽等现象。

9.2 维护与检修

9.2.1 建成项目运营期间，给排水管道系统应定期进行维修保护，保持畅通，发

中国勘察设计协会

现漏水或故障，应及时进行维修，正常工作后后方可使用。

9.2.2 建成项目运营期间的定期巡检，应重点检查裂缝、沉降、渗水痕迹和排水设施通畅性等工程病害。

9.2.3 每年旱季末期对排水设施应进行全面清淤检修，雨季强降雨后进行检查和局部清理。

9.2.4 进行绿化的建筑物场地，应控制绿化地带用水水量。

【条文说明】当红砂厚度较小，底部存在相对不透水层时，不当的用水环境容易引起上层滞水问题，罗安达多项处理后的红砂地基失效，与绿化用水不当使用造成上层滞水上升有密切关系，控制绿化用水是有必要的。

9.2.5 建成项目运营期间，应检查白蚁的危害情况，并应符合下列规定：

1 检查门窗框、橱柜、吊顶龙骨等木质构件是否有蛀孔、空鼓、变色、变形或粉末状排泄物；

2 查看墙基、伸缩缝、管道穿墙孔洞、电缆沟等隐蔽部位是否存在泥质蚁路；

3 在每年白蚁分飞季节，检查窗台、墙角等位置是否有分飞孔或残留的有翅成虫翅膀；

4 检查建筑周边树木、灌木、枯枝落叶堆、景观木材等是否受白蚁侵害。

【条文说明】安哥拉红砂地区目前没有成体系的白蚁危害调查技术规范或导则，也没有成套的防护标准。中国根据实践经验，形成了成熟的白蚁调查防治国家标准、行业标准和地方标准，对安哥拉地区白蚁的防治具有良好的指导意义，条文内容的制定参考了长期防治实践经验及行业相关标准。本条旨在为各类建筑物运营期间的白蚁危害检查提供一套具体、可操作的技术导则，制定此条检查规定，是为了实现早发现、早治理，将白蚁危害控制在初步形成阶段。

9.2.6 建成项目运营期间的红砂冲蚀检查部位可按表 9.2.6 确定。

表 9.2.6 运营期间红砂冲蚀重点检查部位与项目

检查位置	红砂冲蚀问题与危害
建筑物散水与外墙根脚	回填部位塌陷，与基础脱空
埋地管道、管井	长期渗水，造成地面塌陷，管道渗漏，管井下陷
未防护的填方或挖方边坡	降雨、各类用水导致边坡塌方
植被严重破坏边坡	降雨冲蚀形成大型冲沟
路肩排水不畅处、急弯陡坡段	破坏路肩，沉陷或塌方

中国勘察设计协会

检查位置	红砂冲蚀问题与危害
排水明渠或管沟的侧壁与底部	衬砌结构破坏，红砂冲蚀，渗漏严重
桥台与锥坡位置	是否被掏空，危及桥台安全
涵洞进出口位置	集中过水会剧烈冲刷下游的红砂地基，导致涵洞悬空、失效
陡坡地段输变电塔、信号塔	雨水冲刷导致回填土流失，影响稳定性
坡地上的营地、仓库等设施	雨季是否形成径流冲刷

【条文说明】建立表 9.2.6 的重要检查项目，以便形成系统性、有针对性的巡检，避免检查的遗漏和盲目性，确保能早期识别冲蚀迹象，及时采取维护措施，保障设施安全与功能完整。检查位置是根据红砂地区工程实践总结出的最易发生冲蚀危害的薄弱环节和高风险区域。每个位置对应的红砂冲蚀问题与危害，描述了该部位在冲蚀作用下可能发生的典型破坏形态及其后果，为检查人员提供了判断风险的直接依据。

9.3 沉降观测

9.3.1 体型复杂、对差异沉降敏感、地下水位变化幅度大的红砂地区建筑物，应进行沉降观测，并应符合下列规定：

1 沉降观测基准点应设在建筑物沉降影响范围外，基准点选择埋设在深厚密实的土层上，如红砂厚度大，应采用深埋式基准点，基准点周围应采取防排水、防红砂冲蚀和防白蚁措施；

2 应在建筑物墙角、不同荷载分界处、柱基、沉降缝等关键部位及周边区域设置永久沉降观测点，进行长期沉降变形观测；

3 沉降观测频率应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定执行，雨季应加密观测。

4 结合地下水变化补充观测。

【条文说明】体型复杂的建筑对差异沉降极为敏感，水位上升后，红砂地基容易出现软化，对于此类高风险建筑物，需要进行沉降监测。红砂地层受水的影响比较大，尤其是降雨影响，基准点出现沉降变形的可能性增加，因此强调基准点需要埋设在深厚密实的土层，以免受水的影响。当场地为深厚红砂层时，无法提供可靠的固定参照，必须采用深埋式基准点。

9.3.2 沉降观测基准点、沉降观测点应妥善保护，并应定期对观测基准点进行校核。对破坏的水准点或观测点，应及时修补。

中国勘察设计协会

9.3.3 发现沉降突然加速、不均匀沉降等沉降异常问题时，应及时反馈相关管理单位研究处理。

9.4 地下水位监测

9.4.1 当地下水位变化可能对红砂地基造成影响时，应布置观测井进行地下水位观测，并应符合下列规定：

1 应在施工阶段结合场地条件，在下列重点区域布置观测井：

1）荷载差异较大的位置；

2）沉降敏感带；

3）红砂厚度小且底部存在相对隔水层的区域。

2 在运营期间，若遇下列情况，应补充布置水位观测井：

1）场地周边存在灌溉、绿化等显著改变局域地下水平衡的活动；

2）调查发现附近区域存在因水位变化导致变形破坏的建筑物；

3）场地内建筑物已出现裂缝或倾斜。

【条文说明】红砂地区，地下水变化、生产生活用水是诱发地基变形、影响建筑物长期稳定的主导环境因素，在条文所列的重点位置、高风险水文地质结构及因水产生灾害的建筑物，设置水位观测井，能够掌握地下水长期动态变化，评估地基处理措施长期有效性，以及预警各类水的因素导致灾害。

9.4.2 地下水位观测与沉降观测应采用同一高程基准点系统。

【条文说明】红砂地区工程经验表明，红砂地基的沉降与地下水的波动变化有密切联系，将同一时间段内的水位变化数据与沉降发展数据进行对比，量化变形和水位变化之间的关系，从而判断水位变化是否为沉降的主控因素，或是由于其他因素所致。

9.4.3 水位观测井应定期检查井盖完整性，井管是否堵塞或破损，并应检查观测井周围是否有红砂冲蚀问题及白蚁活动情况。

9.4.4 发现有地下水位异常变化时，应及时反馈相关管理单位研究处理。

中国勘察设计协会

附录 A 浸水条件的标准贯入试验要点

A.0.1 进行浸水标准贯入试验的钻孔应具有代表性。

A.0.2 应钻探或清孔至标准贯入试验位置以上 15cm 处。

A.0.3 应根据红砂层的入渗速度选择滴灌管规格。入渗速度应通过现场试验确定，宜并以孔底表面不起水头的最大水量来控制。入渗速度初步可按下列公式估算：

$$v = 0.9\pi k d^2 \qquad \text{（A.0.3）}$$

式中 v——入渗速度（L/h）；

k——红砂土饱和渗透速度（cm/s）；

d——钻孔直径（cm）。

【条文说明】本条规定的目的是为了防止在注水过程中，由于注水速度过快导致孔底形成积水（水头），从而诱发钻孔孔壁坍塌。

公式（A.0.3）实质上是基于水力坡降为 1 时的达西定律推导得出的，且在推导中忽略了水平向（侧向）渗透的影响，计算出的流量代表了饱和状态下土体垂直方向能吸收的最大理论流量。实际操作中，红砂层通常处于非饱和状态。在注水初期，土体基质吸力较大，且注水主要用于填充孔隙，土体的实际入渗能力往往较强；随着孔隙逐渐被水填充，入渗速度会逐渐趋于该理论流量。由于该理论计算未计入侧向渗透的扩散作用，计算结果属于保守的安全上限值。按此公式控制注水速度，理论上能保证注入的水量完全渗入土体，而不会在孔底形成积水。

A.0.4 应将滴灌管上端连接地表盛水容器，下端顺直放入钻孔底部。

A.0.5 应通过滴灌管向钻孔底部注水。注水时长或注水总量应通过现场试验确定，应以确保钻孔底以下 50cm 范围内的土体被水浸湿控制。注水总量初步可按下列公式估算：

$$Q = \frac{1}{80}\pi d^2\left[1-(0.372+w)\,\rho_{\mathrm{d}}\right] \qquad \text{（A.0.5）}$$

式中 Q——注水总量（L）；

w——红砂土天然含水率，以小数表示；

ρ_{d}——红砂土干密度（g/cm^3）。

【条文说明】公式（A.0.5）是基于理想化的圆柱体模型推导得出的。该模型假设注水影响范围为一个以钻孔截面为底、高度为 50cm 的圆柱体，且目标是使该范围内土体的饱和度

中国勘察设计协会

达到 100%。在实际工程实践中，红砂土浸水后的饱和度通常难以达到 100%，一般仅在 60% 左右。然而，水分在向下渗透的同时，不可避免地会向侧向扩散渗透，这使得实际受湿土体的体积往往大于理论计算的圆柱体体积。综合考虑“饱和度不足 100%”（减少需水量）与“侧向渗透”（增加需水量）这两个相反因素的影响，二者在数值上存在一定的抵消作用，将其作为初步估算注水总量的公式。

A.0.6 注水完成后，应拔出滴灌管。应立即进行标准贯入试验，先打入 15cm 作为预打阶段，不计锤击数；随后的 30cm 为正式记录段，每打入 10cm 记录一次锤击数，累计计算后 30cm 的总锤击数。

A.0.7 试验结束后，应打开标贯器，若发现浸水痕迹未超过标贯器长度该次试验作废，应重新钻探、注水和试验；若浸水痕迹超过标贯器长度，应从标贯器中取出扰动土样，进行含水率测试，以确定标贯击数对应的含水状态。

A.0.8 当需要在同一钻孔中进行天然状态与浸水状态对比试验时，注水浸润不得影响下一试验位置土体的天然含水率。

中国勘察设计协会

附录 B 现场试坑浸水试验要点

B.0.1 试坑宜挖成圆形或方形，其直径或边长不应小于自重湿陷性红砂层的底面深度，并不应小于 10m；试坑深度宜为 0.50m，最深不应大于 0.80m。坑底宜铺 100mm 厚的砂砾石。

B.0.2 试坑内应对称设置观测自重湿陷的深标点，最大埋设深度应大于室内试验确定的自重湿陷下限深度，各湿陷性红砂层分界深度位置宜布设有深标点。在试坑底部，由中心向坑边以不少于 3 个方向，均匀设置观测自重湿陷的浅标点；在试坑外沿浅标点方向 10m～20m 内设置地面观测标点，观测精度宜为±0.5mm。

B.0.3 试坑内的水头高度不宜小于 300mm，在浸水过程中，应观测湿陷量、耗水量、浸湿范围和地面裂缝。湿陷稳定后可停止浸水，其稳定标准为最后 5d 的平均湿陷量小于 1mm/d。

B.0.4 试坑内停止浸水前，应测试自重湿陷性土层的饱和度。

B.0.5 试坑内停止浸水后，应继续观测不少于 10d，期间满足平均下沉量连续 5d 不大于 1mm/d 条件时，试验方可终止。

中国勘察设计协会

本标准用词说明

1　为便于在执行本标准条文时区别对待，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：

正面词采用“必须 ”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

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：

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　条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定 ”或“应按……执行”。

中国勘察设计协会

引用标准名录

《土的工程分类标准》GB/T 50145

《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025

《建筑地基基础设计规范》GB 50007

《岩土工程勘察规范》GB 50021

《土工试验方法标准》GB/T 50123

《建筑地基处理技术规范》JGJ 79

《建筑桩基技术规范》JGJ 94

《建筑基桩检测技术规范》JGJ 106

《房屋白蚁防治技术标准》JGJ/T 245

《建筑变形测量规范》JGJ 8

中国勘察设计协会

附：条文说明

中国勘察设计协会团体标准

安哥拉红砂地区地基基础技术标准

Technical standards for foundation engineering in the Red Sand Region of the Republic of Angola

T/CECAS　20XXX-202X

条 文 说 明

中国勘察设计协会