**山西省工程建设地方标准**

**湿陷性黄土场地勘察及地基处理技术标准**

Standard for investigation and ground treatmentin collapsible loess regions

DBJ04/T312-2024

批准部门：山西省住房和城乡建设厅

主编单位：山西省勘察设计研究院有限公司

施行日期：2024年X月X日

**前 言**

根据山西省住房和城乡建设厅《关于印发2022年工程建设地方标准制（修）订计划的通知》(晋建科字〔2022〕152号)的要求，标准编制组进行了广泛深入调查研究，并系统总结实践经验，参考国家有关标准和行业标准，在广泛征求意见的基础上，对本标准进行了修订。

本标准的主要技术内容包括：1.总则；2.术语和符号；3.基本规定；4.勘察；5.试验与评价；6.地基设计；7.地基处理；8.场平工程；9.黄土地基病害治理。

本标准修订的主要技术内容是：增加了市政工程、轨道交通工程、地基病害、场平工程与黄土地质灾害勘察有关内容；增加了获取压力-湿陷系数(p-δs)曲线的试验要求；调整了场地湿陷类型与地基湿陷等级划分标准；修订了自重湿陷性黄土场地负摩阻力取值原则；增加了场平工程要求等；增加了崩塌及边坡稳定性计算方法;补充了既有建筑物的地基加固和纠倾方法与要求。

本标准由山西省住房和城乡建设厅负责管理，由山西省勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请反馈至山西省勘察设计研究院有限公司(地址：太原市敦化南路57号，邮政编码：030013)。

**本标准主编单位**： 山西省勘察设计研究院有限公司

**本标准参编单位：** 太原理工大学

太原理工大学建筑设计研究院有限公司

山西省建筑设计研究院有限公司

煤炭工业太原设计研究院有限公司

**本标准主要起草人员：**

**本标准主要审查人员：**

**目 次**

1 总 则 1

2 术语和符号 3

2.1 术语 3

2.2 符 号 6

3 基本规定 8

4 勘察 17

4.1 一般规定 17

4.2 建（构）筑物工程 22

4.3 市政工程 28

4.4 城市轨道交通工程 37

4.5 地基病害 51

4.6 场平工程勘察 55

4.7 地质灾害勘察 63

5 试验与评价 73

5.1 测定黄土湿陷性的试验 73

5.2 黄土湿陷性评价 81

6 地基设计 88

6.1 一般规定 88

6.2 地基计算 90

6.3 桩基础 94

7 地基处理 101

7.1 一般规定 101

7.2 垫层法 108

7.3 强 夯 法 111

7.4 挤密法 115

8 场平工程 119

8.1 一般规定 119

8.2 原场地地基处理 122

8.3 填筑体处理 127

8.4 边坡 131

9 地基病害加固和纠倾 132

9.1 一般规定 132

9.2 围箍法 135

9.3 旋喷加固法 137

9.4 注浆加固 143

9.5 坑式静压桩托换法 144

9.6 锚杆静压桩法 145

9.7 纠倾法 150

附录A 黄土工程地质分区图 153

附录B 各类建筑物的举例 154

附录C 黄土地层的划分 155

附录D 判别新近堆积黄土的规定 156

附录E 黄土的承载力 159

附录F 不同崩塌类型的崩塌稳定性计算方法 161

附录G 不同滑面形态的边坡稳定性计算方法 164

附录H 单桩竖向承载力静载荷浸水试验要点 168

附录J 垫层、强夯和挤密等地基的静载荷试验要点 172

本规范用词说明 176

引用标准名录 177

条文说明 178

# 1 总 则

**1.0.1** 为确保山西省湿陷性场地上建（构）筑物的安全与正常使用，更好地贯彻国家黄土标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025的原则和精神，以实现技术先进、经济合理、环境保护、节约能源、控制风险的目标，结合山西省地区特点、工程实践经验以及科学研究成果，特制定本标准。

**1.0.2** 本标准适用于山西省行政区域内湿陷性黄土场地房屋建筑与市政工程的勘察及地基处理。

【条文说明】**1.0.2** 本标准适用于山西省行政区划内的湿陷性黄土场地房屋建筑与市政工程的勘察及地基处理，其它类型的工程可参照使用。

**1.0.3** 在湿陷性黄土场地上进行工程建设，应根据建（构）筑物的特点和设计要求，科学制订勘察纲要、精心组织实施，提供结论可靠、建议可行的勘察报告。

**1.0.4** 在湿陷性黄土场地上，为防止地基浸水湿陷对建（构）筑物产生危害应根据湿陷性黄土的特点、工程要求和工程所处水环境，因地制宜，采取以地基处理为主的综合措施。

【条文说明】**1.0.4**  防止地基湿陷的措施有地基处理及基础措施、防水措施和结构措施，三种措施的作用和功能各不相同。本标准强调地基处理为主的综合措施，即以治本为主，治标为辅，标、本兼治，突出重点，消除隐患。对大厚度湿陷性黄土地基，如地基处理难度较大，可采取地基处理、防水措施和结构措施并重的综合措施。

**1.0.5** 湿陷性黄土场地房屋建筑与市政工程的勘察和地基处理，除应符合本标准外，尚应符合国家和山西省现行有关标准的规定。

【条文说明】**1.0.5** 本标准是根据黄土的湿陷性特征编制的，对本标准未规定的有关内容，应按有关现行国家和山西省有关标准执行。

# 2 术语和符号

## 2.1 术语

**2.1.1** 湿陷性黄土collapsible loess

在一定压力下受水浸湿，土结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。

**2.1.2** 湿陷变形collapse deformation

湿陷性黄土或具有湿陷性的其他土在一定压力下，下沉稳定后，受水浸湿所产生的附加下沉。

**2.1.3** 非湿陷性黄土noncollapsible loess

在一定压力下受水浸湿，无显著附加下沉的黄土。

**2.1.4** 自重湿陷性黄土loess collapsible under overburden pressure

在上覆土的饱和自重压力下受水浸湿，发生显著附加下沉的黄土。

**2.1.5** 非自重湿陷性黄土loess noncollapsible under overburden pressure

在上覆土的自重压力下受水浸湿，不发生显著附加下沉的黄土。

**2.1.6** 新近堆积黄土recently deposited loess

沉积年代短，具高压缩性，承载力低，均匀性差，在50～150kPa压力下变形较大的全新世晚期（）黄土。

**2.1.7**  湿陷性黄土地基collapsible loess foundation

含有湿陷性黄土的建（构）筑物地基。基底下湿陷性黄土层下限深度小于20m定为一般湿陷性黄土地基，大于等于20m定为大厚度湿陷性黄土地基。

**2.1.8** 湿陷起始压力initial collapse pressure

湿陷性黄土浸水饱和，开始产生湿陷时的压力。

**2.1.9** 湿陷系数coefficient of collapsibility

单位厚度的环刀试样，在一定压力下，下沉稳定后，试样浸水饱和所产生的附加下沉。

**2.1.10** 自重湿陷系数coefficient of collapsibility under overburden pressure

单位厚度的环刀试样，在上覆土的饱和自重压力下，下沉稳定后，试样浸水饱和所产生的附加下沉。

**2.1.11**  湿陷量collapse value

湿陷性黄土在一定压力作用下，下沉稳定后，浸水饱和产生的附加下沉量。可通过计算或实测取得。

【条文说明】**2.1.11**  湿陷量可通过计算或现场试验获得。根据室内压缩试验得出的不同深度湿陷性黄土试样的自重湿陷系数或湿陷系数，考虑现场条件计算得到的湿陷量分别为自重湿陷量计算值或湿陷量计算值；采用现场试坑浸水试验，全部湿陷性黄土层浸水饱和，无外加荷载(仅有土的自重应力)作用下产生的湿陷量为自重湿陷量实测值，在外加荷载和土自重应力共同作用下产生的湿陷量为湿陷量实测值。

**2.1.12** 剩余湿陷量remant collapse deformation

基础底面以下，未处理的湿陷性黄土的湿陷量。

**2.1.13** 现场试坑浸水试验immersion test of test pit

在现场采用圆形或方形试坑浸水以确定场地自重湿陷量实测值的试验方法。

**2.1.14** 浸水机率系数coefficient of immersion

根据地基土层浸水环境和深度，按地区经验确定的浸水可能性大小的系数。

**2.1.15** 黄土地基病害 loess foundation disaster

黄土地区既有建（构）筑物因地基不均匀、浸水湿陷、处理缺陷等原因引起的地基不均匀沉降和建筑物裂缝等灾害。

**2.1.16** 工程周边环境 environment around engineering

工程施工影响范围内的建（构）筑物、地下管线、城市道路、城市桥梁、既有城市轨道交通、既有铁路和地表水体等环境对象。

**2.1.17** 黄土地区大厚度填挖场地 Filling- excavating site with large thickness in loess regions

黄土地区通过人为填挖而形成的工程建设场地。一般指填方厚度大于8m、挖方深度大于15m。

**2.1.18** 场平工程 Site leveling

场平工程是指通过填挖方形成工程建设场地的活动。

## 2.2 符 号

*A*——基础底面积

*a*——压缩系数

*b*——基础底面的宽度

*d—*—基础埋置深度，桩身直径

*E*s*—*—压缩模量

——孔隙比

——地基处理前的孔隙比

**——地基处理后的孔隙比

*f*a——修正后的地基承载力特征值

**——天然地基承载力特征值

——垫层底面处经深度修正后的地基承载力特征值

——处理后桩间土的承载力特征值

——复合地基的承载力特征值

*I*p——塑性指数

*l*——基础底面的长度，桩身长度

*p*k——相应于荷载效应标准组合基础底面的平均压力值

*p*o——基础底面平均附加压力值

**——湿陷起始压力

*q*pa——桩端土的承载力特征值

*q*sa——桩周土的摩擦力特征值

——单桩竖向承载力特征值

*S*r——饱和度

*w*——含水量

*w*L——液限

*w*p——塑限

*w*op——最优含水量

*γ*——土的重力密度，简称重度

*γ*0——基础底面以上土的加权平均重度，地下水位以下取有效重度

*θ*——基底的压力扩散角

*η*b——基础宽度的承载力修正系数

*η*d——基础深埋承载力的修正系数

*φ*s——沉降计算经验系数

——湿陷系数

——自重湿陷系数

——自重湿陷量的计算值

——自重湿陷量的实测值

——湿陷量的计算值

——因地区土质而异的修正系数

——考虑地基受水浸湿的可能性和基底下土的侧向挤出等因素的修正系数

*α*——地基土浸水机率系数

# 3 基本规定

**3.0.1** 工程勘察应根据工程不同设计阶段的任务、目的和要求，针对拟建工程的结构类型、特点、规模和场地的水文地质条件、场地工程地质条件的复杂程度，黄土层的分布和湿陷性变化特点等制定勘察纲要。勘察纲要应包括下列内容：

**1** 工程概况；

**2**  概述拟建场地环境、工程地质条件、附近参考地质资料和地区建筑经验；

**3** 勘察目的、任务要求及需解决的主要技术问题；

**4** 执行的技术标准；

**5** 选用的勘探方法；

**6** 勘察工作布置；

**7** 勘探完成后的现场处理；

**8** 拟采取的质量控制、安全保证和环境保护措施；

**9** 拟投入的仪器设备、人员安排、勘察进度计划等；

**10** 勘察安全、技术交底及验槽等后期服务；

**11** 拟建工程勘探点平面布置图。

【条文说明】**3.0.1** 本条是对勘察纲要的基本规定；

场地环境包括场地地形、地貌，周围已有工程建筑、地下管线设施情况及其与拟建工程的关系。

由于工程建设的迅猛发展，削山、填沟、造地引起的水环境变化，成为岩土工程领域的热点课题，勘察工作纲要中应增加工程地质、水文地质条件变化的资料收集与分析，特别是地下水上升、侧向水浸入、地面水汇聚排泄及边坡稳定性的评估。因此本次修订增加了对水文地质条件的要求。

**3.0.2** 在湿陷性黄土场地进行岩土工程勘察应符合下列规定：

**1** 查明工程场地及其周边的地形地貌；

**2** 查明黄土地层的时代、成因；

**3** 查明湿陷性黄土层的厚度、下限深度；

**4** 查明地下水及河、沟、湖、库、雨水等地面水的汇聚与排泄；

**5** 评价自重湿陷系数、湿陷系数及湿陷起始压力随深度的变化；

6 评价不同湿陷类型场地、不同湿陷等级地基的平面分布；

**7** 提供地基的变形参数和承载力特征值；

**8** 评估地下水上升、侧向水渗入和地面水汇聚、排泄、下渗对建筑物的影响，并应提出工程建议。

**9** 其他工程地质条件。

 【条文说明】 **3.0.2** 湿陷性黄土场地的岩土工程勘察，除应查明黄土层的时代、成因、厚度、湿陷性、地下水等工程地质条件外，尚应查明工程场地的环境条件及其对工程的影响；应结合建筑物特点和设计要求，查明湿陷性沿深度的变化、环境水的现状和变化趋势，在综合各方面因素基础上对场地、地基作出正确评价，对地基处理、防水措施等提出针对性强的工程措施建议。

**3.0.3** 大厚度填挖和拟填挖整平建设场地，具有大厚度湿陷性黄土、欠压密填土以及复杂环境地质条件特点，应进行具有针对性勘察。除应满足3.0.2条规定外，尚应符合下列规定：

**1** 对已填挖整平场地应查清原始地形、地貌、填挖方的范围、厚度、填挖交界线、堆填方式、填筑土体性质等；

**2** 对拟填挖整平建设场地应根据填挖目的和设计要求进行岩土工程勘察，查明场地的地形、地貌、工程地质和水文地质条件、湿陷性黄土的分布特征、填料工程性质，评估填挖方对水环境的影响、湿陷性的变化和形成的边坡等，为场地工程设计提供依据。

【条文说明】**3.0.3** 黄土地区填挖场地存在更加复杂的工程地质条件和岩土工程问题，勘察前应收集填挖前和填挖整平后的地形图资料，地形图应详细、准确反映拟建场地的地形、地貌、地物，场地外范围尽可能达到分水岭界线，便于对场地环境、地形、场地汇水和排泄通道以及填挖范围、厚度进行详细的分析。

**3.0.4** 山西省湿陷性黄土工程地质分区，可按本标准附录A划分。

**3.0.5** 湿陷性黄土场地上的建（构）筑物，应根据其重要性、地基受水浸湿可能性的大小和在使用期间对不均匀沉降限制的严格程度，分为甲、乙、丙、丁四类，并应符合表3.0.5的规定。

表3.0.5 建（构）筑物分类

|  |  |
| --- | --- |
| 建（构）筑物分类 | 各类建筑的划分 |
| 甲类 | 高度大于60m建（构）筑物；14层及14层以上体型复杂的建（构）筑物；高度大于50m的构筑物；高度大于100m的高耸结构；跨度不小于36m、吊车额定起重量不小于100t的车间；轨道交通中地下车站主体、高架车站主体结构、高架区间结构、地下区间结构（含区间风井、电力跟随所）、U 型槽、控制中心 主变电站、与主体结构相连的设备用房等附属结构；特别重要的建筑；地基受水浸湿可能性大的重要建筑；对不均匀沉降有严格限制的建筑 |
| 乙类 | 高度为24～60m的建筑；高度为30～50m的构筑物；高度为50～100m的高耸结构；跨度大于或等于24m、小于36m或吊车额定起重量等于或大于30t、小于100t的车间；地基受水浸湿可能性较大的重要建筑及城市轨道交通中的出入口、通道、与主体结构分离的设备用房等附属结构；地基受水浸湿可能性大的一般建筑 |
| 丙类 | 除甲类、乙类、丁类以外的一般建筑物和构筑物 |
| 丁类 | 长高比不大于2.5且总高度不大于5m，地基受水浸湿可能性小的单层辅助建筑；次要建筑； |

当建（构）筑物各单元的重要性不同时，可根据各单元的重要性划分为不同类别。甲、乙、丙、丁四类建筑的划分，可结合本标准附录B确定。

【条文说明】3.0.5 建筑物种类繁多，使用功能各不相同，对建筑物分类的目的是为了设计时有针对性对待，防止不论工程情况采取“一刀切”的措施。

建筑物分类的主要考虑因素是建筑物高度、重要性、体型复杂程度、地基受水浸湿可能性，也要考虑基底荷载大小、对沉降量的要求和对不均匀沉降的限制等因素。地基受水浸湿可能性分为以下三种：

1 地基受水浸湿可能性大，是指建筑物内的地面经常有水或积水可能性大，排水沟较多或地下管道很多；建筑物附近正在或将来计划修建人工湖或其他大型蓄水设施，或其他因素导致地下水位可能上升幅度较大；

2 地基受水浸湿可能性较大，是指建筑物内局部有一般给水、排水或暖气管道；建筑物周边附近有需要经常浇水的绿化带；

3 地基受水浸湿可能性小，是指建筑物内无给排水设施和暖气管道，室外给排水设施距离建筑物较远，地下水位变动幅度小；建于突出高地上的建筑物或构筑物，地下水位很深，周围无用水设施，无汇水条件，雨水可迅速排走。

**3.0.6** 防止或减小建（构）筑物地基浸水湿陷的设计措施，应根据建筑物类别和岩土工程勘察对场地和地基的湿陷性评价结果综合确定，应采取以地基处理为主，防水和结构措施结合的处理措施，分为以下三种：

**1** 地基基础措施

1）消除地基的全部或部分湿陷量；

2）将基础设置在非湿陷性土层上；

3）采用桩基础穿透全部湿陷性黄土层。

**2** 防水措施

1. 基本防水措施：在建（构）筑物布置、场地排水、屋面排水、地面防水、散水、排水沟、管道敷设、管道材料和接口等方面，应采取措施防止雨水或生产、生活用水的渗漏；对大厚度湿陷性黄土地基上的建（构）筑物，应加大建（构）筑物周围地面的排水坡度并有效封闭地面，确保排水通畅，场地不积水。

2）检漏防水措施：在基本防水措施的基础上，对防护范围内的地下管道，应增设检漏管沟和检漏井。

3）严格防水措施：在检漏防水措施的基础上，应提高防水地面、排水沟、检漏管沟和检漏井等设施的材料标准，如增设可靠的防水层、采用钢筋混凝土排水沟等。

4）侧向防水措施：在建筑物周围采取防止水从建筑物外侧渗入地基中的措施，如设置防水帷幕、增大地基处理外放尺寸等。

**3**  结构措施

减小或调整建筑物的不均匀沉降，或使结构适应地基的变形；对大厚度湿陷性黄土地基上的建筑，宜采取下列措施：

1）建筑物平、立面布置宜简单、规则，并应控制建筑物的长度和长高比；

2）加强建筑物的整体性和空间刚度，采用适宜的基础形式和结构体系，增强建筑物抵抗不均匀沉降的能力。基础应采用钢筋混凝土箱基、筏基、交叉梁条基等形式；结构宜采用现浇钢筋混凝土框架、框架-剪力墙、剪力墙等体系，多层建筑也可采用砌体结构体系，但各楼层均应设置封闭交叉圈梁和构造柱；

3）建筑物宜利用沉降缝分成若干个简单、规则，并具有较大空间刚度的独立单元，并宜加大沉降缝宽度**。**

【条文说明】**3.0.6** **1** 本次修订根据工程实践进一步明确了侧向防水措施，对水从侧向渗入地基可能性大的情况可采用。侧向防水措施不能代替竖向防水措施，应作为措施的补充；

**2** 防水措施和结构措施宜根据场地湿陷类型和采取的地基基础措施选择使用。对场地自重湿陷量较小、已消除地基全部湿陷量和采用桩基情况，可选较低标准防水措施；对场地自重湿陷量较大、建筑物地基尚有剩余湿陷量的情况，应选择较高级别防水措施和结构措施；

**3** 设置管网与地（管）沟（井）等设施可参照以下做法：

1）用水设施及地下沟井，应确保不漏水；宜做成全剖面钢筋混凝土的结构且一次浇筑不留施工缝；沟井接口和管道接头，应严密不漏水、通水顺畅，且有一定胀缩调整功能，也可做成柔性接头；

2）管、沟应尽量直线设置，减少拐弯，以较短距离和较大坡度径直通向建筑物防护范围以外，地沟伸缩缝应做滞水带（塑料、钢板、橡胶等）；

3）用水管道不应直接埋地设置，应设于钢筋混凝土地沟中；管网和用水设施应便于监控检查，及时发现问题、及时维修或更换。

4 大厚度湿陷性黄土地基上的建（构）筑物外地面的排水坡度可参照下表规定执行。

表1 地面最小排水坡度（imin）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 建筑物外距离 | ≤10m | >10m、≤20m | >20m、≤30m | >30m |
| imin（%） | 2.0 | 1.5 | 1.0 | 0.7 |

**5** 封闭地面一般可采用下列方法：

**1）**采用整片地基处理方法：如垫层法、强（重）夯法、挤密法等，应进行整片处理，处理厚度一般可为1m-5m，要求压实系数（λc）大于0.93、挤密系数（ηc）大于0.91，严禁采用透水性材料；

**2）**整片铺设防水层，如采用沥青防水层、防水土工膜（布）、改性沥青防水材料等；

**6** 设置侧向防水帷幕可采用下列方法：

**1）**人工或机械开挖沟槽，一般宽度1m-2m，用粉质粘土或粘土分层夯填，要求压实系数不小于0.95，施工时应做好土壁支护；

**2）**沉管挤密，一般（3-5）排，孔心距按桩孔间挤密土平均挤密系数不小于0.93计算确定，孔填料应采用粉质粘土或粘土，平均压实系数不小于0.95；

**3）** 竖向设置沥青防水带或防水土工膜，一般应与沟槽开挖夯填土料相结合；

**4）** 防水帷幕平面上应封闭连成整体并加强搭接处理。

**3.0.7** 黄土地区大厚度填挖场地上的工程建设应坚持因地制宜、防治结合、综合治理的原则，根据填挖场地特点和环境水条件，采取场地治理、地基处理、结构措施及防排水措施等相结合的综合措施，防止地基土压密或固结（压缩）变形、湿陷变形等对建设场地及其上建筑物产生危害。

**3.0.8** 因黄土湿陷造成建（构）筑物地基病害治理应进行专项勘察、施工图设计和编制详细的施工方案，并经专项论证后实施；治理完成后，应对建筑物及其附近的给排水管网、地面排水设施采取严格防水措施。

【条文说明】**3.0.8** 地基病害勘察是黄土地基病害治理的基础，也是地基加固设计的依据。无勘察资料的治理设计存在盲目性，其可靠性差，安全度无法保证。

每种地基病害治理方法都有其适用性及优缺点，因此治理设计时应从预期效果、施工可行性、施工质量和安全可控性、施工材料以及对临近建筑和周边环境影响等多方面进行技术经济分析和方案比较，确定适宜的治理方法并进行专项设计。

由于湿陷性黄土的特殊性，治理施工过程中可能会引起新的附加沉降，对地基造成不良影响，因此，施工前应编制详细的施工方案，确何施工安全。

**3.0.9** 地基处理及桩基础施工应进行质量检验。质量检验应分为施工自检和验收检验。检验结果应作为地基基础分项或分部工程验收资料的组成部分。

**3.0.10** 对甲类建筑，以及设计单位认为有必要的乙类建筑，应在设计文件中注明沉降观测点的位置，并提出施工和使用期间的沉降观测要求。

【条文说明】**3.0.10** 沉降观测可及时发现沉降异常，掌握实测值和计算值的关系，对发现事故起到预警作用，也可为事故处理提供依据和信息。在设计文件中提出沉降观测要求是提醒有关单位此项工作的重要性。甲类建筑外的其他类别建筑可根据实际情况决定是否观测。

**3.0.11** 湿陷性黄土场地上建筑物的设计文件中应附有建筑物和管道的使用与维护要求。

# 4 勘察

## 4.1 一般规定

**4.1.1**  工程勘察前应收集已有的勘察、设计、施工及与勘探作业安全相关的工程周边环境等专项调查资料，根据各勘察阶段的任务及要求进行勘察。

【条文说明】**4.1.1** 工程勘察通常根据不同设计阶段要求开展工作。不同阶段要求不同，主要目标也不一样。为了使勘察工作的布置和岩土工程的评价具有明确的工程针对性，解决工程设计和施工中的实际问题，搜集有关工程结构资料，了解设计要求，是十分重要的工作。

**4.1.2** 工程勘察应按可行性研究勘察、初步勘察、详细勘察要求分阶段开展勘察工作，各阶段的勘察成果应符合各相应设计阶段的要求。

当施工中出现方案调整或特殊的工程地质问题需专门研究时应进行施工勘察；当存在对工程设计方案和施工有重大影响的岩土工程问题时应进行专项勘察；对场地面积不大，地质条件简单或有建筑经验的地区，可简化勘察阶段。

**4.1.3** 勘察方法可采用搜集巳有地质资料、工程地质测绘、工程物探、勘探与取样、原位测试、室内试验、现场试验等多种手段相结合的综合勘察方法；可行性研究阶段勘察应以搜集巳有地质资料和工程地质调查与测绘为主，必要时应布置适量的勘探与取样、原位测试、物探、室内试验等工作；初步勘察阶段、详细勘察阶段应以勘探与取样、原位测试、室内试验、现场试验为主，辅以工程地质调查和测绘、工程物探等手段。

**4.1.4** 勘察工作量应结合建筑物类别、地貌单元、工程地质条件复杂程度进行布置。

**4.1.5** 场地工程地质条件的复杂程度，可分为下列三类：

   1  简单场地：地形平缓，地貌、地层简单，场地湿陷类型单一、地基湿陷等级变化不大；

   2  中等复杂场地：地形起伏较大，地貌、地层较复杂，局部有不良地质现象发育，场地湿陷类型、地基湿陷等级变化较大；

   3  复杂场地：地形起伏很大，地貌、地层复杂，不良地质现象广泛发育，场地湿陷类型、地基湿陷等级分布复杂，地下水位变化幅度大或变化趋势不利。

**4.1.6** 工程地质测绘，除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB50021的规定外，尚应符合下列规定：

**1** 研究地形的起伏和地面水的积聚、排泄条件，调查洪水淹没范围及其发生规律；

**2** 划分不同的地貌单元，确定其与黄土分布的关系，查明湿陷凹地、黄土溶洞、滑坡、崩塌、冲沟、泥石流及地裂缝等不良地质现象的分布、规模、发展趋势及其对建设的影响；

**3**  划分黄土地层或判别新近堆积黄土，应分别符合本标准附录C或附录D的规定；

**4** 调查地下水位的深度、季节性变化幅度、升降趋势及其与地表水体、灌溉情况和开采地下水强度的关系，查明上层滞水、潜水、承压水等地下水类型和来源，评估地下水上升的可能性和程度；

**5** 调查既有建筑物的现状；

**6** 了解场地内有无地下坑穴，如古墓、井、坑、穴、地道、砂井(巷)等；

**7** 调查活动断裂的时代、位置、方向、性质及地震效应。

**4.1.7** 工程地质调查与测绘的资料应准确可靠、图文相符。对工程设计、施工有影响的工程地质现象，应用素描图或照片记录并附文字说明。

**4.1.8**  黄土地层钻探应符合现行国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》GB50025 及《建筑工程地质勘探与取样技术规程》JGJ/T87 等相关规范、规程的要求；地下水位以上黄土层应采用静压或岩芯管回转钻进，地下水位以下土层宜采用泥浆护壁回转钻进，终孔孔径不小于 110mm，钻探回次进尺不宜大于 2.0m；探井尺寸应便于作业施工，满足取样及安全作业要求。

**4.1.9**  岩土试样可在钻孔、探井中按层采取，土样采取应符合下列规定：

**1** 钻孔采取黄土试样时，应采用快速静力连续压入法；当压入法取样困难时，可采用一次击入法；

**2** 钻孔中水位以上黄土应采用黄土薄壁取土器取样，水位以下黄土应采用有内衬取土器或三重管取样；

**3** 探井土样应在井壁上人工刻取，当采用机械洛阳铲成井时，土样应在井壁 15cm 外刻取。

**4** 黄土地层勘探采取Ⅰ级土样时，宜在探井中采取，进行湿陷性试验取样竖向间距宜为1.0m，20m以下可为1.5m，土样直径不宜小于120mm。

**5** 黄土试样应进行密封，防止土样受环境影响，标明土样上下方向，运输中应避免振动倒置。

**4.1.10** 勘探点回填应符合下列规定：

**1** 勘探点使用完毕后，应根据工程要求选用适宜的材料及时妥善回填，回填质量应满足工程和相关单位的要求。

**2** 市政道路上的钻孔采用原土分层夯实回填至地面下6m后，应改用水泥砂浆或素混凝土分层捣实回填至地面下0.6m，然后用冷料沥青分层捣实回填至地面。

**3** 临近堤防的钻孔应采用干粘性土球回填，并应边回填边夯实；有套管护壁的钻孔应边拔套管边回填；对隔水有特殊要求时，可用水泥浆或水泥、膨润土浆液通过泥浆泵由孔底向上灌注回填。

**4** 特殊场地条件下的勘探点的回填，应按相关主管部门的规定进行。

**4.1.11** 测定黄土湿陷性的试验一般可通过室内压缩试验进行，评价湿陷性用的不扰动土样必须保持其天然的湿度、密度和结构，并应符合Ⅰ级土样质量的要求。

【条文说明】**4.1.11** 土试样按扰动程度分为四个质量等级，其中只有Ⅰ级土试样可用于土类定名、含水量、密度、力学性质等试验，所以用于测试黄土密实度和力学性质的土试样首先必须是Ⅰ级土试样。湿陷性黄土的结构性、含水量、密度等对湿陷指标影响很大，在土样采取、包装、运输、储存等环节均应采取保护措施。

**4.1.12**  当通过室内压缩试验难以确定场地湿陷类型或确定的场地湿陷类型与地区经验出入较大时，对甲类建筑和乙类中的重要建筑应进行现场试坑浸水试验，并按现场试验结果进行湿陷性评价；现场浸水试验应布置在厚度较大的湿陷性黄土分布区域，选址应具有代表性，浸水试验宜在初勘阶段进行。

【条文说明】**4.1.12** 浸水试验一般应选择在大厚度湿陷性黄土分布区域，试验场地应选择湿陷性较强烈的地方，考虑到浸水试验对原状土性质的改变，试验场地应避开场地一定的距离，且不能距离太远而缺乏代表性；由于浸水试验成果往往与室内试验成果存在较大差异，为了稳定设计方案，本条建议浸水试验宜在初勘阶段进行，以便为方案设计提供依据。

由于经济飞速发展，人类的居住空间已从冲洪积平原、低阶地，向黄土塬和高阶地发展，这些区域建筑经验少，按室内试验结果计算出的自重湿陷量与现场试坑浸水试验的实测值往往不完全一致，根据我省浸水试验结果，湿陷性黄土厚度和自重湿陷性黄土，室内外测试结果均有较大差异，但现场试坑载荷试验费时费力，多数情况经济条件不允许，针对上述情况，规定“按自重湿陷量的实测值判定场地湿陷类型”。

**4.1.13** 湿陷性试验外的其他室内试验项目和试验方法应根据岩土性质、工程类型和设计、施工需要综合确定，岩土力学试验条件应接近工程实际情况，试验方法应符合《土工试验方法标准》GB50123的要求。

**4.1.14** 原位测试手段应根据工程需要和地区经验选取，试验方法应符合《岩土工程勘察规范》GB 50021的要求。

**4.1.15** 对地下水位变化幅度较大或变化趋势不利的地段，应从初步勘察阶段开始进行地下水位动态的长期观测。

**4.1.16** 岩土工程分析评价应在勘探、测试及岩土指标统计分析等工作的基础上，结合工程特点和要求进行。评价应针对拟建场地和地基基础进行，应评价场地稳定性、工程建设适宜性以及地质条件可能造成的工程风险，提出防治措施的建议，提供设计所需的岩土参数。

**4.1.17** 工程勘察报告应根据任务要求、勘察阶段、工程特点和地质条件等编写，报告内容应符合《工程勘察通用规范》GB55017的要求。

## 4.2 建（构）筑物工程

**4.2.1** 可行性研究勘察阶段，应包括下列工作内容：

**1**  搜集并分析与拟建场地相关的工程地质、水文地质、环境地质、地形地貌、水文气象、地震资料及地区建设经验；

**2**  在搜集资料和分析研究的基础上进行水文地质与工程地质调绘，了解拟建场地的地形地貌、周边环境条件、有无影响场地稳定的不良地质作用和地质环境等问题；

**3**  调查场地黄土层的地质时代、成因、下限深度、地下水位及分布特点，划分工程地质单元，进行工程地质分区；

**4**  初步分析黄土湿陷类型、湿陷等级、评估可能的地基基础类型及优缺点；

**5**  本阶段的勘察成果，应对拟建场地的稳定性和适宜性作出初步评价，对各比选场址提出明确比选意见。

【条文说明】**4.2.1** 地质环境对拟建工程有明显的制约作用，在场址选择或可行性研究勘察阶段，对地质环境进行调查了解很有必要。近年来，随着城市建设规模的发展，原有市区土地日益紧张，多地将原有采空区、原有化工厂旧址等地区划为建设场地，此类地区存在尚未沉降稳定的采空区及有毒、有害的废弃物等，对拟建工程及人民群众身体健康存在危害，因此在勘察期间必须详细调查了解和探查清楚。

**4.2.2** 初步勘察阶段，应包括下列工作内容：

**1**  搜集拟建工程的有关文件、可行性研究勘察报告、工程地质、水文地质和岩土工程资料以及工程场地范围的地形图、地下设施分布图；

**2**  调查场地内及其附近地质构造、不良地质作用、不利埋藏物和地质环境等问题的类型、成因、分布范围，预测其发展趋势，评价场地的稳定性和适宜性；

**3**  初步查明场地地层结构及各土层的物理力学性质、场地湿陷类型、地基湿陷等级、湿陷下限及其在不同区段内的差异；

**4** 初步查明场地地下水的类型与埋深、场地及周边范围内地表水汇集和排汇情况，分析地下水与地表水体（系）的联系特点，预估地下水位季节性变化幅度和升降可能性及对工程的影响；

**5**  调查了解场地的历史地形、地物、人工改造及挖、填方情况；

**6** 当工程地质条件复杂，已有资料不满足要求时，应进行工程地质测绘；

**7**  初步评价场地和地基的地震效应；

**8** 初步评价水和土对建筑材料的腐蚀性；

**9**  调查场地土的最大冻结深度、标准冻结深度；

**10**  分析建筑总平面布置的合理性，对不同类型建筑的地基基础及基坑方案、不良地质作用做出分析，提出防治建议，提出本阶段的岩土设计参数取值建议。

**11** 对环境风险等级较高的工程周边环境，应分析可能出现的工程问题，提出预防措施的建议。

【条文说明】**4.2.2**  对场地存在的不良地质作用和地质环境问题，应查明其分布范围、成因类型及对工程的影响。建设和环境是互相制约的，人类活动可以改造环境，但环境也制约工程建设。因此工程建设尚应考虑是否会形成新的地质环境问题。

**4.2.3** 初步勘察勘探点、线、网的布置，应符合下列规定：

**1** 勘探线应沿地貌单元的纵、横剖面线方向或分界线及其垂直线方向布置，在地形平缓、地层简单地段可按网格布置，在地形地貌复杂、地层变化较大的地段应予以加密，且每个地貌单元上及地貌单元交接地段均应有勘探点。初步勘察勘探点的间距，宜按表4.2.3确定；

表4.2.3 初步勘察勘探点间距（m）

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 建筑类别地貌单元 | 甲类 | 乙类 | 丙类 | 丁类 |
| 黄土塬、黄土阶地 | 80～120 | 120～160 | 160～200 | 200～250 |
| 黄土梁、峁，黄土斜坡 | 50～80 | 80～120 | 120～160 | 160～200 |
| 黄土沟谷 | 20～50 | 50～80 | 80～110 | 110～150 |

注：① 地貌单元分界地带应加密勘探点；②黄土沟谷谷底应有勘探线或勘探点。

**2** 取土和原位测试的勘探点在平面布局上应具控制性，其数量不得少于全部勘探点的2/3；

**3** 勘探点的深度应根据湿陷性黄土层的厚度和地基压缩层深度的预估值确定，每个地貌单元控制性勘探点不少于2个，深度应穿透湿陷性黄土层；

**4** 每主要土层采取不扰动土样进行湿陷性试验不应少于6组。

【条文说明】**4.2.3** 按黄土成因的特殊性，黄土分布均匀性较好，但考虑到我省黄土地区冲沟普遍发育，切割强烈，很少存在大的黄土台塬，而主要以梁峁、冲沟的形式分布，地形一般较为复杂，勘探点间距不宜过大，因此本标准勘探点间距按国标《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025执行，更加突出了地域性特点。在实际工作中，当勘探深度范围内均为黄土时，勘探点间距可按本标准执行；如勘探深度范围内除黄土外尚分布其它土层，考虑到地基均匀性评价和建(构)筑物变形计算要求，勘探点间距宜根据地基复杂程度等级按《岩土工程勘察标准》CB50021 及其它相关标准执行。同时考虑到本地区钻探现实情况，鉴别孔的数量不宜过多，因此规定取土和原位测试的勘探点数量较国标《湿陷性黄土地区建筑标准》GB50025的规定偏多。

随着建(构)筑物向高、宽、大方向发展，地基影响深度增大，多数大于湿陷性黄土底界深度，本标准规定勘探点的深度，应根据湿陷性黄土层的厚度和地基压缩层深度的预估值综合确定。

由于经济飞速发展，人类的居住空间已从冲洪积平原、低阶地，向黄土塬和高阶地发展，这些区域建筑经验少，按室内试验结果计算出的自重湿陷量与现场试坑浸水试验的实测值往往不完全一致，根据我省浸水试验结果，湿陷性黄土厚度和自重湿陷性黄土，室内外测试结果均有较大差异，但现场试坑载荷试验费时费力，多数情况经济条件不允许，针对上述情况，规定“按自重湿陷量的实测值判定场地湿陷类型”。

**4.2.4** 详细勘察阶段，包括下列工作内容：

**1** 进一步调查场地内及其附近地质构造、不良地质作用和地质环境等问题的类型、成因、分布范围、发展趋势，提出防治措施建议，对场地的稳定性及适宜性进行评价；

**2** 详细查明各建筑地段的地层结构、场地湿陷类型、地基湿陷等级的平面分布；

**3**  查明各建筑物地段各土层物理力学性质指标，对每层湿陷性土层选取典型土样测试不同压力下的湿陷系数，绘制压力-湿陷系数（P-δS）曲线；分析湿陷起始压力、强度与变形指标沿深度的变化特点；

**4**  根据地下水类型、埋深，结合上部结构特性和周边环境条件，分析地基浸水湿陷的可能性和程度；

**5**  提出各土层承载力特征值的建议，提出适宜的地基处理或基础方案并进行分析，对处理深度和主要技术参数提出建议；

**6**  有深基坑和降水施工时，尚应分析评估坑壁稳定性以及对临近建筑物的影响，提供相关计算参数；场地条件复杂时，应进行专项研究；

**7**  进一步评价场地和地基的地震效应；

**8**  进一步评价水和土对建筑材料的腐蚀性。

【条文说明】**4.2.4** 湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷起始压力均为黄土场地的主要岩土参数，详勘阶段宜绘制上述参数的在随深度变化的曲线图，并进行相关分析。针对工程建设的现状及今后发展方向，勘察成果要求有深基坑开挖与桩基工程的有关内容。

**4.2.5** 详细勘察勘探点的布置，应根据总平面和本标准3.0.5条划分的建筑物类别以及场地的复杂程度等因素综合确定，并应满足下列规定：

 **1**  勘探点应沿建筑轮廓或基础中心位置布设；

 **2**  建筑群勘探点间距宜按表4.2.5确定；

表4.2.5 详细勘察勘探点间距(m)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  建筑类别 场地工程地质条件复杂程度 | 甲 | 乙 | 丙 | 丁 |
| 简单 | 30～40 | 40～50 | 50～80 | 80～100 |
| 中等复杂 | 20～30 | 30～40 | 40～50 | 50～80 |
| 复杂 | 10～20 | 20～30 | 30～40 | 40～50 |

**3**  单体建筑勘探点数量，甲类、乙类建筑不宜少于5个，丙类建筑不应少于3个，丁类建筑不应少于2个，杆塔式构筑物不应少于1个；

**4**  勘探点深度应大于地基压缩层深度且满足评价湿陷等级的深度需要，甲类、乙类建筑尚应穿透湿陷性土层，对桩基工程尚应满足验算沉降的要求；

**5** 采取不扰动土样和原位测试的勘探点不应少于全部勘探点的 2/3，且取样勘探点不宜少于全部勘探点的1/2。

**4.2.6** 详细勘察阶段的勘察成果，应符合下列要求：

**1** 按建筑物或建筑群提供详细的岩土工程资料和设计所需的岩土技术参数，当场地地下水位有可能上升至地基压缩层的深度以内时，宜提供饱和状态下的强度和变形参数；

**2** 对地基作出分析评价，并对地基处理、不良地质作用和地质环境的防治方案等作出论证和建议；

**3** 对深基坑工程应提供稳定性评价所需的计算参数，并分析基坑开挖对邻近建筑物的影响；

**4** 对桩基工程的桩型、桩的长度和桩端持力层深度提出合理建议，并提供设计所需的技术参数；

**5** 提出施工和检测监测的建议。

## 4.3 市政工程

**4.3.1** 本节适用于城市道路工程、城市桥涵工程、城市隧道工程及城市室外管道工程岩土工程勘察。

**4.3.2** 可行性研究勘察工作应包括下列内容：

**1** 搜集区域地质、构造、地震、水文、气象、地形、地貌等资料；

**2** 了解场地的工程地质条件和水文地质条件概况；

**3** 调查场地湿陷性黄土层的地质时代、成因、下限深度，了解其工程特性，分析评价可能造成的不利影响；

**4** 调查拟建场区及周边环境条件；

**5** 分析不良地质作用和场地稳定性，划分抗震地段类别；

**6** 评价拟建场地工程建设的适宜性；

**7**  存在两个或以上拟选场地时，进行比选分析。

**4.3.3** 初步勘察工作应包括下列内容：

**1** 初步查明拟建场地不良地质作用的分布、规模、成因、发展趋势等；

**2** 初步查明场地岩土体地质年代、成因、结构及其工程性质；

**3** 初步查明地下水的埋藏条件、动态变化规律以及和地表水的补排关系；

**4** 初步判定水、土对工程材料的腐蚀性；

**5** 初步查明场地湿陷类型、地基湿陷等级、湿陷下限；

**6**  初步评价场地和地基的地震效应；

**7**  对可能采用的地基基础方案、围岩及边坡稳定性进行初步分析评价。

**4.3.4** 城市道路工程初步勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 初步勘察勘探点的间距宜根据道路分类、场地工程地质条件复杂程度按表4.3.4确定。公交场站和城市广场的道路与地面勘探点间距宜为100m~200m。

表4.3.4 初步勘察勘探点间距(m)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 场地工程地质条件复杂程度 | 一般路基 | 高路堤、陡坡路堤 | 路堑、支挡结构 |
| 复杂 | 150~300 | 100~150 | 100~150 |
| 中等复杂 | 300~500 | 150~300 | 150~250 |
| 简单 | 400~600 | 300~500 | 250~400 |

 2 查明场地湿陷性的勘探点的数量要求：场地工程地质条件复杂程度简单时，每2公里不得少于1个，场地工程地质条件复杂程度中等复杂时，每1.5公里不得少于1个，场地工程地质条件复杂程度为复杂时，每1公里不得少于1个；查明场地湿陷性的勘探点应同时兼顾支挡结构布置。存在黄土陷穴、落水洞、湿陷洼地、古墓等不良地质发育的路段，宜做横断面勘探；

**3**  初步勘察勘探孔的深度应满足路基地基稳定性分析、变形计算、地基处理方案比选的要求，查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

**4.3.5**  城市桥涵工程初步勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 初步勘察勘探线应与桥梁的轴线方向一致，勘探点宜布置在桥梁轴线两侧可能建造墩台的部位。对特大桥的主桥，每个墩台勘探点不宜少于1个；对其他桥梁，可采取隔墩台或隔墩台交叉布置勘探点；

**2**  采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量宜占勘探孔总数的1/3～1/2；

**3**  查明场地湿陷性的勘探点应结合地貌地质单元，每个地貌单元每个桥梁布置不少于1个查明场地湿陷性的勘探点；

**4** 控制性勘探孔的勘探深度应满足地基基础方案比选和地基稳定性、变形计算的要求，一般性勘探孔应满足查明地基持力层和软弱下卧土层分布的要求，查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

**4.3.6**  城市隧道工程初步勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 勘探点的数量和位置应根据区域地质资料分析、地质调查和测绘及物探结果确定。对于地质条件复杂的隧道，勘探点数量不应少于5个，长、特长隧道勘探点间距宜为200m~300m，隧道口宜布置勘探点；

2 查明场地湿陷性的勘探点的数量要求：短隧道不宜少于2个；中隧道不宜少于3个；长隧道及特长隧道的勘探点平均间距不宜大于500m；

**3** 一般性勘探孔应进入隧道底板以下不小于1.5倍隧道高度，控制性勘探孔应进入隧道底板以下不小于2.5倍隧道高度，查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

**4.3.7**  城市室外管道工程初步勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 初步勘察的勘探点间距宜符合表4.3.7的规定。

表4.3.7 初步勘察勘探点间距(m)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 场地工程地质条件复杂程度 | 埋深小于5m，明挖施工 | 埋深5m~8m，明挖施工 | 埋深大于8m，明挖施工 | 顶管、定向钻施工 |
| 复杂 | 100~200 | 50~100 | 40~75 | 30~60 |
| 中等复杂 | 200~300 | 100~200 | 75~150 | 60~100 |
| 简单 | 300~500 | 200~400 | 150~300 | 100~150 |

**2** 采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的2/3。

3 查明场地湿陷性的勘探点的数量要求：场地工程地质条件复杂程度简单时，每2公里不得少于1个，场地工程地质条件复杂程度中等复杂时，每1.5公里不得少于1个，场地工程地质条件复杂程度为复杂时，每1公里不得少于1个；

**4** 明挖管道勘探深度应满足开挖、支护设计及施工的要求且不应小于管底设计高程以下5m；采用顶管、定向钻施工敷设的管道勘探孔深度应进入管底设计高程以下5m~10m，查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

**4.3.8**  市政工程详细勘察工作应包括下列内容：

**1**  查明拟建场地不良地质作用的分布、规模、成因，分析发展趋势，评价其对拟建场地的影响，提出防治措施的建议；

**2** 查明场地地层结构及其物理、力学性质；

**3** 查明湿陷性黄土的分布范围，调查工程周边环境条件，分析评价其对设计与施工的影响；

**4** 查明地下水埋藏条件及其和地表水的补排关系，提供地下水位动态变化规律，根据需要分析评价其对工程的影响；

**5** 判定水、土对工程材料的腐蚀性；

**6** 对场地和地基的地震效应进行评价，提供抗震设计所需的有关参数；

**7**  根据需要，对地基工程性质、围岩分级及稳定性、边坡稳定性等进行分析与评价；

**8**  对设计与施工中的岩土工程问题进行分析评价，提供岩土工程技术建议和相关岩土参数。

**4.3.9** 城市道路工程详细勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 道路勘探点宜沿道路中线布置。当一般路基的道路宽度大于50m、其他路基形式的道路宽度大于30m时，宜在道路两侧交错布置勘探点。

**2** 勘探点的间距可根据道路分类、场地和岩土条件的复杂程度按表4.3.12确定。公交场站和城市广场的道路与地面可按方格网布置勘探点，勘探点间距宜为50m~100m。

表4.3.9 详细勘察勘探点间距(m)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 场地工程地质条件复杂程度 | 一般路基 | 高路堤、陡坡路堤 | 路堑、支挡结构 |
| 复杂 | 50~100 | 30~50 | 30~50 |
| 中等复杂 | 100~200 | 50~100 | 50~75 |
| 简单 | 200~300 | 100~200 | 75~150 |

**3** 每个地貌单元、不同地貌单元交界部位、相同地貌内的不同工程地质单元均应布置勘探点，在微地貌和地层变化较大的地段应予以加密；

**4** 陡坡路堤、路堑、支挡工程及不良地质发育路段应在代表性的区段布设工程地质横断面，每条横断面上的勘探点不应少于2个。

**5** 查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2且不少于3个，每段高路堤、陡坡路堤、路堑及支挡结构勘探点的数量不宜少于1个；

**6** 一般路基、公交场站和城市广场的道路与地面的勘探孔深度宜达到原地面以下5m，在挖方地段宜达到路面设计标高以下4m， 高路堤、陡坡路堤、路堑、支挡工程的勘探孔深度应满足变形计算、稳定性分析评价和地基处理的要求；查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

【条文说明】**4.3.9**  道路在行车荷载作用下，路面以下将产生显著的应力状态，其范围称为工作区。行车荷载越大，则工作区深度越大。关于工作区深度，一般载重汽车约为1.5m，重型汽车一般达3m左右，个别重型自卸汽车行车荷载大，工作区深度近4m，故一般路基勘探孔深度宜达原地面以下5m，对挖方地段考虑通常路基条件相对较好，勘探孔宜达路面设计标高以下4m。对于查明场地湿陷性的控制性勘探点则应穿透湿陷性土层，并采取试样进行湿陷性试验，划分场地湿陷类型和湿陷等级。

**4.3.10** 城市桥涵工程详细勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 对特大桥的主桥，每个墩台勘探点不应少于2个；对其他桥梁，宜逐墩台布置勘探点；对人行天桥主桥可逐墩台布点，梯道可隔墩台布点，梯脚部位应布置勘探点；城市涵洞和人行地下通道的勘探点间距宜为20m~35m，单个涵洞、人行地下通道的勘探点不应少于2个；

**2** 控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的1/3；采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的1/2；当勘探孔总数少于3个时，每个勘探孔均应取样或进行原位测试；

**3** 查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2且不少于2个；

**4**  当拟采用天然地基时，勘探孔深度应能控制地基主要受力层；一般性勘探孔应达到基底下(0.5~1.0)倍的基础宽度，且不应小于5m；控制性勘探孔的深度应超过地基变形计算深度；当拟采用桩基时，控制性勘探孔应穿透桩端平面以下压缩层厚度；一般性勘探孔深度宜达到预计的桩端以下(3~5)倍桩径，且不应小于3m，对于大直径桩不应小于5m；采用沉井基础时，勘探孔深度应根据沉井刃脚埋深和地质条件确定，宜达到沉井刃脚以下(0.5~1.0)倍沉井直径(宽度)，并不应小于5m；查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

**4.3.11** 城市隧道工程详细勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 场地工程地质条件复杂程度复杂时，勘探点间距应为10m~30m；场地工程地质条件复杂程度中等复杂时，勘探点间距应为30m~40m；场地工程地质条件复杂程度简单时，勘探点间距应为40m~50m。

**2** 采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的1/2，控制性勘探孔数量不应少于勘探孔总数的1/3; 查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2且不少于3个；

**3** 一般性勘探孔宜进入隧道底板以下不小于1.5倍隧道高度，控制性勘探孔宜进入隧道底板以下不小于2.5倍隧道高度，查明场地湿陷性的勘探点应揭穿湿陷性土层。

**4.3.12** 城市室外管道工程详细勘察勘探点的布置，应符合下列要求：

**1** 明挖管道勘探点宜沿管道中线布置；顶管、定向钻施工管道的勘探点宜沿管道外侧交叉布置；管道走向转角处、工作井(室)宜布置勘探点；管道穿越铁路、公路时，铁路和公路两侧应布置勘探点；

**2** 勘探点间距宜符合表4.3.12的规定。

表4.3.12 详细勘察勘探点间距(m)

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 场地工程地质条件复杂程度 | 埋深小于5m，明挖施工 | 埋深5m~8m，明挖施工 | 埋深大于8m，明挖施工 | 顶管、定向钻施工 |
| 复杂 | 50~100 | 40~75 | 30~50 | 20~30 |
| 中等复杂 | 100~150 | 75~100 | 50~75 | 30~50 |
| 简单 | 150~200 | 100~200 | 75~150 | 50~100 |

**3** 采取土试样和进行原位测试的勘探孔数量不应少于勘探孔总数的1/2，查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2且不少于3个。

**4** 明挖管道勘探孔深度应满足开挖、支护设计及施工的要求且应达到管底设计高程以下不少于3m；非开挖敷设管道，勘探孔深度应达到管底设计高程以下5m~10m；查明湿陷性的勘探点应穿透湿陷性土层.

##

## 4.4 城市轨道交通工程

**4.4.1** 可行性研究勘察阶段应针对轨道交通工程线路方案开展岩土工程勘察工作，为线路方案比选提供依据，勘察工作应进行下列工作：

**1** 搜集区域地质、地形、地貌、水文、气象、地震等资料、以及沿线的工程地质条件、水文地质条件和相关工程建设经验；

**2** 调查城市轨道交通工程线路场地的岩土工程条件、周边环境条件，研究控制线路方案的主要工程地质问题和重要工程周边环境，为线位、站位、线路敷设形式、施工方法等方案的设计与比选、技术经济论证、工程周边环境保护及编制可行性研究报告提供地质资料；

**3** 分析控制线路方案的工程周边环境与线路的相互影响，提出规避、保护的初步建议；

**4**  调查场地黄土层的地质时代、成因、湿陷下限深度、场地湿陷类型、地基湿陷等级，进行工程地质分区；

**5** 对控制线路方案的不良地质作用，了解其类型、成因、范围及发展趋势，分析其对线路的危害，提出规避、防治的初步建议；

**6** 研究场地的地形、地貌、工程地质、水文地质、工程周边环境等条件，分析路基、高架、地下等工程方案及施工方法的可行性， 提出线路比选方案的建议；

**7** 沿线或线路附近有全新世活动断裂通过时，应进行全新世活动断裂专项勘察。

**8**  本阶段的勘察成果，应对拟建场地的稳定性和适宜性作出初步评价，对各比选线路提出明确比选意见。

【条文说明】 **4.4.1** 可行性研究阶段勘察是城市轨道交通工程建设的一个重要环节。城市轨道交通工程在规划可研阶段，就需要考虑众多的影响和制约因素，如地质条件、环境设施、施工难度等。这些因素是确定线路走向、埋深和工法时应重点考虑的内容。

制约线路敷设方式、工期、投资的地质因素主要为不良地质作用、特殊性岩土和线路控制节点的工程地质与水文地质问题。因此，这些地质问题是可行性研究阶段勘察工作的重点。

**4.4.2** 可行性研究勘察阶段勘探点布置应符合下列要求：

**1** 勘探点数量应满足工程地质分区的要求，每个工程地质单元应有勘探点，在地质条件复杂地段应加密勘探点；勘探点间距不宜大于1000m，每个车站应有不少2个勘探点；

**2** 勘探点中应布置适量探井，数量应能满足初步了解湿陷性黄土分布特征和湿陷特性评价要求；

**3** 勘探孔深度应满足场地稳定性、适宜性评价和线路方案设计、工法选择等需要，探井深度应能揭穿湿陷性黄土层；

**4** 当有两条或两条以上比选线路时，各比选线路均应布置勘探点。

**4.4.3** 初步勘察阶段应在可行性研究勘察的基础上，针对线路敷设形式、各类工程的结构形式、施工方法等开展工作，按初步设计要求初步查明城市轨道交通工程线路、车站、车辆基地和相关附属设施的工程地质和水文地质条件，分析评价地基基础形式和施工方法的适宜性，预测可能出现的岩土工程问题，提供初步设计所需的岩土参数，提出复杂或特殊地段岩土治理的初步建议。

**4.4.4** 初步勘察阶段应进行下列工作：

**1** 搜集带地形图的拟建线路平面布置图、线路纵断面图、施工方法等有关设计文件及可行性研究勘察报告、沿线地下设施分 布图；

**2** 初步查明沿线地质构造、岩土类型及分布、岩土物理力学性质地下水埋藏条件，进行工程地质分区；

**3** 初步查明人工填土的类别、地质时代、成因、规模、分布、工程性质，分析其对工程的危害程度；

**4** 初步查明湿陷性黄土场地的湿陷性类型、地基的湿陷等级、湿陷下限深度、平面分布；

**5** 查明沿线场地不良地质作用的类型、成因、分布、规模，预测其发展趋势，分析其对工程的危害程度；

**6** 查明全新世活动断裂与线路的位置关系、产状、活动性，分析其对工程的危害；

**7** 初步查明沿线地表水的水位、水质，流量及防渗措施，分析地表水与地下水的补排关系及地下水升降对工程的危害；

**8** 初步查明地下水水位，地下水类型，补给、径流、排泄条件，历史最高水位，地下水动态和变化规律；

**9** 初步评价场地和地基的地震效应；

**10** 评价场地稳定性和工程适宜性；

**11** 初步评价水和土对建筑材料的腐蚀性；

**12** 对可能采取的地基基础类型、地下工程开挖与支护方案、地下水控制方案进行初步分析评价；

**13**  调查场地土的最大冻结深度、标准冻结深度；

**14** 对环境风险等级较高的工程周边环境，应分析可能出现的工程问题，提出预防措施的建议。

**4.4.5** 地下车站及地下区间初步勘察除应符合本标准4.4.4条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 初步确定地下车站、区间隧道的围岩分级和岩土施工工程分级，隧道浅埋区段应分析评价其稳定性；

**2** 根据地下车站、区间隧道的结构形式及埋置深度，结合岩土工程条件，提供初步设计所需的岩土参数，提出地基基础方案的初步建议；

**3** 应针对地下车站、区间隧道的施工方法，结合岩土工程条件，分析基坑支护、围岩支护、盾构设备选型、岩土加固与开挖、地下水控制等可能遇到的岩土工程问题，提出处理措施的初步建议.

**4.4.6** 地下车站、地下区间初步勘察勘探点布置应符合下列要求：

**1** 地下车站的勘探点宜按结构轮廓线布置，每个车站勘探点数量不宜少于6个，且勘探点间距不宜大于100m；主变电站及单独布置的风井应布置勘察工作量，且不宜少于 1个勘探点；

**2** 地下区间的勘探点间距宜为100m～200m，施工工法比选地段、大断面、异型断面处应布置勘探点，在地貌、地质单元交接部位、地层变化较大地段以及不良地质作用发育地段应加密勘探点；

**3**  每个地下车站或区间取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3；查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2，每个车站不少于2个，每个区间不少于3个；

**4**  勘探孔深度应根据地质条件及设计方案综合确定，控制性勘探孔进入结构底板以下不应小于30m，一般性勘探孔进入结构底面以下不应小于20m；探井应揭穿湿陷性黄土层。

**4.4.7** 高架车站、高架区间初步勘察除应符合本标准4.4.4条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明对高架方案有控制性影响的不良地质体的分布范围，指出工程设计应注意的事项；

**2** 采用天然地基时，初步评价墩台基础地基稳定性和承载力，提供地基变形、基底抗倾覆和坡体抗滑移稳定性验算所需岩土参数；

**3** 采用桩基时，初步查明桩基持力层的分布、厚度变化规律，提出桩型及成桩工艺的初步建议，提供桩侧土层摩阻力、桩端土层端阻力初步建议值，并评价桩基施工对工程周边环境的影响；对自重湿陷性场地，尚应提供桩侧湿陷性土层的负摩阻力。

**4.4.8** 高架车站、高架区间初步勘察勘探点布置应符合下列规定：

**1** 高架车站勘探点宜按结构轮廓线布置，数量不宜少于3个，对柱跨或桥墩台位置已确定的，尽量结合桥柱、框架柱布设；

**2** 高架区间勘探点间距应根据场地复杂程度和设计方案确定，勘探点宜为80～150m；

**3**  每个车站或区间取样、原位测试的勘探点数量不应少于勘探点总数的2/3；查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2，每个车站不少于2个，每个区间不少于3个；

**4** 控制性勘探孔深度应满足墩台基础或桩基沉降计算和软弱下卧层验算的要求，一般性勘探孔应满足查明墩台基础或桩基持力层和软弱下卧层分布的要求；探井应揭穿湿陷性黄土层。

**4.4.9** 路基、涵洞工程初步勘察除应符合本标准4.4.4条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 初步查明各岩土层的岩性、分布情况及物理力学性质，重点查明对路基工程有控制性影响的不稳定岩土体、软弱土层等不良地质体的分布范围；

**2** 初步评价路基基底的稳定性，划分岩土施工工程等级，指出路基设计应注意的事项并提出相关建议；

**3** 初步查明水文地质条件，评价地下水对路基的影响，提出地下水控制措施建议；

**4** 对高路堤应初步查明软弱土层的分布范围和物理力学性质，提出天然地基的填上允许高度或地基处理意见，对路堤的稳定性进行初步评价；

**5**  高路堤（填方）工程初步查明填方对湿陷性评价的影响；

**6** 对深路堑，应初步查明边坡的地层结构、岩土体类型及其物理力学性质，调查沿线天然斜坡、人工边坡的工程地质条件，评价边坡稳定性，提出边坡治理措施的建议；

**7** 对支挡结构，应初步评价地基稳定性和承载能力，提出地基基础形式及地基处理措施的建议。对路堑挡土墙，还应提供墙后岩土体物理力学性质指标；

**8**  初步评价涵洞地基稳定和承载能力，提供涵洞设计、施工所需的岩土参数。

**4.4.10** 路基、涵洞工程初步勘察勘探点布置应符合下列规定：

**1** 每个地貌、地质单元均应布置勘探点，在地貌、地质单元交接部位和地层变化较大地段应加密勘探点；

**2** 路基、路堤、路堑勘探点宜沿线路两侧交错布置，勘探点间距宜为100m～150m，支挡结构应有勘探点控制；高路堤、深路堑应布置横断面，每条横断面勘探点数量不宜少于2 个；

**3** 涵洞勘探点宜沿中线方向布置，每一涵洞不宜少于1个勘探点；

**4** 取样、原位测试的勘探点数量不应少于工程勘探点总数的2/3，查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2。

**5** 一般性勘探孔应进入基底以下5m～10m；控制性勘探孔深度应满足稳定性评价、变形计算、软弱下卧层验算的要求且应穿透湿陷土层；采用桩基础时，孔深应满足桩基设计要求。

**4.4.11** 地面车站及车辆基地工程各类建筑及附属设施的初步勘察应按本标准4.2.2条、4.2.3条的规定执行。

**4.4.12** 详细勘察应在初步勘察的基础上，针对各类工程的建筑类型、结构形式、埋置深度和施工方法等开展工作，按施工图设计要求对场地、地基、围岩及边坡稳定性作出评价，预测可能出现的岩土工程问题，对地基处理、围岩加固与支护、边坡治理、周边环境保护方案施提出建议，提供设计、施工所需的岩土参数。

**4.4.13** 详细勘察阶段应进行下列工作：

**1** 查明不良地质作用的特征、成因、分布范围、发展趋势和危害程度，提出治理方案的建议；

**2** 查明场地范围内岩土层的类型、年代、成因、分布范围、工程特性，分析和评价地基的稳定性、均匀性和承载力，提出天然地基地基处理或桩基等地基基础方案的建议，对需进行沉降计算的建（构）筑物、路基等，提供地基变形计算参数；

**3** 查明湿陷性黄土的工程特性，提出其对工程的危害及处理措施建议；

**4** 分析地下工程围岩的稳定性，对围岩进行分级和岩土施工工程分级，提出对地下工程有不利影响的工程地质问题及防治措施的建议，提供基坑支护、隧道初期支护和衬砌设计、施工所需的岩土参数；

**5** 分析边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出边坡治理的工程措施建议；

**6** 查明对工程有影响的地表水体的分布、水位、水深、水质、防渗措施及地表水与地下水的水力联系等，分析地表水体对工程可能造成的危害；

**7** 查明地下水的埋藏条件，提供场地的地下水类型、勘察时水位、水质、岩土渗透系数、地下水位变化幅度等水文地质资料，分析地下水对工程的作用，提出地下水控制措施的建议；

**8** 判定地下水、土对建筑材料的腐蚀性；

**9** 分析工程周边环境与工程的相互影响，提出环境保护措施的建议；

**10** 确定场地类别，对可能液化地层应进行液化判别，提出处理措施的建议；

**11** 提供场地土的标准冻结深度。

**4.4.14** 地下车站、地下区间详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明各岩土层的分布，提供各岩土层的物理力学性质指标，提供地下工程设计、施工所需的岩土层的基床系数、静止侧压力系数、热物理指标和电阻率等岩土参数；

**2** 对隧道围岩的稳定性、岩土施工工程分级进行评价，分析隧道开挖、围岩加固及初期支护等可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供隧道开挖方式选择、围岩加固、初期支护和衬砌设计所需的岩土参数；

**3** 对基坑的稳定性进行评价，分析基坑可能出现的岩土工程问题，提出防治措施建议，提供基坑支护设计所需的岩土参数；

**4**  对出入口与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道、联络通道等附属工程及隧道断面尺寸变化较大区段，应根据工程特点、场地地质条件和工程周边环境条件进行岩土工程分析与评价；

**5**  对地基处理和围岩加固效果等的工程检测提出建议，对工程结构、工程周边环境、岩土体的变形等的工程监测提出建议。

**4.4.15** 地下车站、地下区间详细勘察勘探点布置应符合下列规定：

**1**  勘探点间距可根据场地复杂程度、地下工程类别及地下工程的埋深、断面尺寸等特点按表4.4.15的规定综合确定。

表4.4.15 勘探点间距

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 场地复杂程度 | 复杂场地 | 中等复杂场地 | 简单场地 |
| 地下车站勘探点间距 | 10～20 | 20～40 | 40～50 |
| 地下区间勘探点间距 | 10～30 | 30～50 | 50～60 |

**2** 车站主体勘探点宜沿结构轮廓线布置，结构角点以及出入口与通道、风井与风道、施工竖井与施工通道等附属工程部位应有勘探点控制；

**3** 每个车站不应少于2条纵剖面和3条有代表性的横剖面；

**4** 车站采用桩基时，勘探点的平面布置宜结合桩的位置布设；

**5** 区间勘探点宜在隧道结构外侧3m～5m的位置交叉布置；

**6** 在区间隧道洞口、陡坡段、大断面、异型断面、工法变换等部位以及联络通道、施工竖井等应有勘探点控制，并布设剖面；

**7** 明挖法勘察宜在开挖边界按照开挖深度的1倍～2倍的范围内布置勘探点，当开挖边界外无法布置勘探点时，可通过搜集、调查取得相应的资料；

**8** 车站工程控制性勘探孔应进入结构底板以下不应小于25m，一般性勘探孔深度应进入结构底板以下不应小于15m；区间工程控制性勘探孔深度应进入结构底板以下不应小于3倍隧道直径（宽度），一般性勘探孔应进入结构底板以下不应小于2倍隧道直径（宽度），控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的1/3，勘探点应穿透湿陷土层；

**9** 采取岩土试样及原位测试勘探孔的数量不应少于勘探点总数的2/3且取样勘探点不宜少于全部勘探点的 1/2，查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2且每个工点不宜少于 6 个；

**4.4.16** 高架车站、高架区间详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明场地各岩土层类型、分布、工程特性和变化规律；确定墩台基础与桩基的持力层，提供各岩土层的物理力学性质指标；分析桩基承载性状，结合当地经验提供桩基承载力计算和变形计算参数。

**2** 查明土洞、人工洞穴等的分布与特征，分析其对墩台基础和桩基的危害程度，评价墩台地基和桩基的稳定性，提出防治措施的建议；

**3** 查明湿陷性黄土的分布、特征和工程特性，评价对墩台地基和桩基的影响，提出防治措施的建议；

**4** 查明水文地质条件，评价地下水对墩台基础及桩基设计和施工的影响；判定地下水和土对建筑材料的腐蚀性；

**5** 查明场地是否存在产生桩侧负摩阻力的地层，评价负摩阻力对桩基承载力的影响，并提出处理措施的建议；

**6** 分析桩基施工存在的岩土工程问题，评价成桩的可能性，论证桩基施工对工程周边环境的影响，并提出处理措施的建议；

**7** 对基桩的完整性和承载能力提出检测的建议。

**4.4.17** 高架车站、高架区间详细勘察勘探点布置应符合下列规定：

**1** 高架车站勘探点应沿结构轮廓线和柱网布置，勘探点间距宜为15m～35m。当桩端持力层起伏较大、地层分布复杂时，应加密勘探点；

**2** 高架区间勘探点应逐墩布设，地质条件简单时可适当减少勘探点。地质条件复杂或跨度较大时，可根据需要增加勘探点；

**3** 墩台基础的一般性勘探孔应达到基底以下10m～15m或墩台某础底面宽度的2倍～3倍；桩基的一般性勘探孔深度应深入预计桩端平面以下3倍～5倍桩身设计直径，且不应小于3m，大直径桩，不应小于5m，应穿透湿陷土层；当预定深度范围内存在软弱土层时，勘探孔应适当加深；

**4** 控制性勘探孔应满足沉降计算和下卧层验算要求。

**5** 控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的1/3。取样及原位测试孔的数量不应少于勘探点总数的2/3 ,查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2且每个工点不宜少于 6 个。

**4.4.18** 一般路基详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明地层结构、岩土性质及水文地质特征；分段划分岩土施工工程等级；评价路基的稳定性；

**2** 采取岩土试样进行物理力学试验，采取水试样进行水质分析。

**4.4.19** 高路堤详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明基底地层结构和岩土性质，查明饱和软黄土的分布，并评价其稳定性；

**2** 高路堤或高填方对场地湿陷类型的影响；

**3** 调查地下水活动对基底稳定性的影响；

**4** 地质条件复杂的地段应布置横剖面；

**5** 采取岩土试样进行物理力学试验，提供验算地基强度及变形的岩上参数；

**6** 分析地基和斜坡稳定性，提出路基和斜坡加固方案的建议。

**4.4.20** 深路堑详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明场地的地形、地貌、不良地质作用和特殊地质问题；

**2** 调查沿线天然边坡、人工边坡的工程地质条件；分析边坡工程对周边环境产生的不利影响；

**3** 土质边坡应查明土层厚度、地层结构、成因类型、密实程度、湿陷土层的类型厚度等；

**4** 查明影响深度范围的含水层、地下水埋藏条件、地下水动态，评价地下水对路堑边坡及结构稳定性的影响；

**5** 建议路堑边坡坡度，分析评价路堑边坡的稳定性，提供边坡稳定性计算参数，提出路堑边坡治理措施的建议；

**6** 调查雨期、暴雨量、汇水范围和雨水对坡面、坡脚的冲刷及对坡体稳定性的影响。

**4.4.21** 支挡结构详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明支挡地段地形地貌、不良地质作用和特殊件岩土，地层结构及岩土性质，评价支挡结构地基稳定性和承载力，提供支挡结构设计所需的岩土参数，提出支挡形式和地基基础方案的建议；

**2** 查明支挡地段水文地质条件，评价地下水对支挡结构的影响，提出处理措施的建议。

**4.4.22** 涵洞详细勘察除应符合本标准4.4.13条的规定外，尚应满足下列要求：

**1** 查明地形、地貌、地层岩性、天然沟床稳定状态、不良地质作用和特殊性岩土分布及发育程度等；

**2** 查明涵洞场地的水文地质条件，必要时进行水文地质试验，提供水文地质参数；

**3** 采取勘探、测试和试验等方法综合确定地基承载力，提供涵洞设计所需的岩土参数；

**4** 调查雨期、雨量等气象条件及涵洞附近的汇水面积。

**4.4.21** 一般路基、高路堤、深路堑、支挡结构及涵洞详细勘察勘探点布置应符合下列规定：

**1** 一般路基勘探点间距为50m～100m，高路堤、深路堑、支挡结构勘探点间距可根据场地复杂程席按表4.4.21综合确定。

表4.4.21 勘探点间距（m）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 场地复杂程度 | 复杂场地 | 中等复杂场地 | 简单场地 |
| 勘探点间距 | 15～30 | 30～50 | 50～60 |

**2** 高路堤、陡坡路堤、深路堑应根据基底和斜坡的特征，结合工程处理措施，确定代表性工程地质断面的位置和数量。每个断面的勘探点不宜少于3个，地质条件简单时不宜少于2个。

**3** 支挡结构的勘探点不宜少于3个。

**4** 涵洞宜沿中线方向布置剖面，且不宜少于2 个勘探点。

**5** 控制性勘探孔的数量不应少于勘探点总数的1/3，取样及原位测试孔数量不应少于勘探点总数的2/3,查明湿陷性的勘探点数量宜为取土勘探点总数的1/3～1/2。

**6** 勘探孔深度应满足以下要求：

**l）**控制性勘探孔深度应满足地基、边坡稳定性分析及地基变形计算的要求；

**2）**一般路基的一般性勘探孔深度不应小于5m，高路堤不应小于8m；

**3）**路堑的一般性勘探孔深度应能探明软弱层厚度，深入稳定地层内2m～3m，满足支护设计要求；

**4）**支挡结构的一般性勘探孔深度应达到基底以下不应小于5m；

**5）**探井深度应能穿透湿陷性土层。

**4.4.22** 地面车站及车辆基地工程各类建筑及附属设施的勘察应按本标准4.2节要求执行。

## 4.5 地基病害

**4.5.1**  湿陷性黄土场地上的既有建筑物或设备基础，出现下列情况时宜进行地基病害勘察：

**1** 地基土的承载力或沉降变形不能满足使用要求；

**2** 地基浸水湿陷变形，继续发展可能致基础变形或破坏，需要阻止湿陷继续发展；

**3** 不均匀沉降超过现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007规定的允许值。

**4.5.2** 地基病害勘察应包括下列工作内容：

**1**  查明地基土层的分布特征及其均匀性，查明是否存在不利埋藏物；

**2** 查明地基土的物理力学性质，重点分析承载力及变形指标与原设计要求的相符性；

**3**  查明对建筑物变形影响的其他条件，需要时进行场地稳定性评价；

**4**  查明地下水分布特征及变化规律，分析湿陷性黄土及因地下水位变化和渗漏水对建筑物变形的影响；

**5** 对土和水的腐蚀性评价；

**6** 分析病害形成原因，提出病害治理方法的建议、设计施工所需的有关参数及应注意的问题；

**7** 提出地表水、地下水防治措施及地下水监测措施建议；

**8**  提出环境保护措施和建筑物施工使用期间监测措施建议。

**4.5.3** 地基病害勘察，应在资料收集、现状调查的基础上，有针对性的进行现玚勘察，提出治理意见和建议。

【条文说明】**4.5.3** 地基病害勘察目的是为了正确选择病害处理的方案，必须全面掌握各种资料。包括既有建筑原岩土工程勘察资料、原设计地基或基础处理的目的和方法、施工与检测的情况、以及产生病害的原因及建筑物现状、现状下地基的各种指标、加固后的使用要求、影响设计和施工的周围环境等各方面的资料。

**4.5.4** 资料收集应符合下列规定：

**1** 原岩土工程勘察资料；

**2**  建筑结构、地基基础设计资料和图纸，隐蔽工程施工记录、竣工图、检验验收资料等；

**3**  建筑结构、基础使用现状的资料，包括沉降观测资料、裂缝、倾斜观测资料等；

**4**  地下管网设施布置图及防水措施；

**5**  可能产生影响的邻近新建建筑、深基坑工程、新建地下工程的有关勘察、设计、施工、监测资料等。

**4.5.5** 现状调查应符合下列规定：

**1** 建筑发生异常变形的诱因、起始时间；

**2** 临近建筑物的地下管线、管沟、水池、绿化浇水等用水及渗漏水情况；临近建筑物的地形低洼区、沟槽、基坑等积水及渗漏水情况；

**3**  建筑物和地表裂缝位置、宽度、延展方向及变化情况；

**4**  建筑物周边边坡支挡方式、变形及排水情况。

【条文说明】**4.5.5** 现场调查应对建筑发生异常变形的诱因、起始时间进行详细分析研判；建议委托方及时布设变形监测点进行持续监测，掌握变形情况；当建筑物变形是由于地下水水位变化引起时，宜首先进行地下管网及渗漏情况、周边排水通道及浸泡沉陷的调查，并要求委托方及时切断水源。

**4.5.6** 现场勘察应符合下列规定：

**1**  勘探点应紧靠基础外侧布置，每栋单独建筑物的勘探点不宜少于4个；在基础外侧适当距离处，宜布置一定数量勘探点；勘探点深度应满足病害治理设计施工要求；

**3** 勘探方法除钻探外，宜包括探井和其他适宜的原位测试手段；取土和原位测试试验的间距，在基底以下一倍基宽的深度范围内宜为0.5m，超过该深度时可为1.0m；必要时，应专门布置探井查明基础类型、尺寸、材料和地基处理等情况；

**4**  每一主要地基土层的每种原位测试数量不应少于3个，不扰动土样的室内试验数量不应少于6组；

**5**  重要建筑物按设计要求，宜选择静载荷试验对地基土承载力进行检验。

【条文说明】**4.5.6** 勘探点布置应结合收集到的原岩土工程勘察资料及建筑物变形情况综合确定，突出重点。紧靠基础外侧布置勘探点，是为确定地基承载力和变形计算提供岩土参数，同时对基础类型、埋置深度、基础受损破坏、原地基处理及施工质量等情况进行探查，勘探点不宜少于4个。

在建筑物变形较大或基础开裂部位两侧，宜布置勘探点，进行岩土参数对比，条件限制时，可布置在基础外侧适当距离处，勘探点数量视情况综合确定。

勘探点深度应结合原岩土工程勘察资料和原地基处理设计要求及病害产生的原因等综合确定；勘探点深度应大于地基压缩层深度并满足病害治理设计施工要求；

勘探方法除钻探外，宜包括探井和静力触探或旁压试验等；需要时可增加物探等方法。地下水水位以上应优先选用人工探井。采用物探方法时，应结合探井、钻孔等其他方法进行验证。

## 4.6 场平工程

**4.6.1**  场平工程勘察包括挖方区、填方区及边坡区的勘察；工作内容包括水文地质与工程地质调查与测绘、岩土工程勘察和水文地质勘察等。

【条文说明】**4.6.1** 水文地质与工程地质调查与测绘、岩土工程勘察和水文地质勘察资料是场平设计的依据，也是确保工程质量、降低投资和提高建设效率的基础工作。

相较于一般建设工程，场平工程勘察工作具有如下特点：挖方区原场地地基主要是填筑材料的勘察，需要查明填料特性和储量；填方区主要是填筑体地基勘察，需要查明湿陷土、松散土、软弱土、滑坡和采空区等不良地质体的分布范围、深（厚）度和性质；边坡区为支挡结构设计，勘察时需要查明土的抗剪强度特性。

由于黄土大厚度填挖工作的复杂性和特殊性，勘察前应搜集场地的总体规划、竖向设计等资料，确定场地挖方区、填方区、挖填交界区以及挖填后人工边坡的分布及范围，明确各自的勘察重点。

**4.6.2**  场平工程初步勘察的工作除应包括本标准第4.2.2条的内容外，尚应初步查明填方区软弱土层的分布及挖方区黄土填料的工程性质和储量，提供主要土层的先期固结压力及软弱土的不排水抗剪强度，对因填筑引起的原场地地基土含水量的改变做出分析评估。

【条文说明】**4.6.2**  初步勘察阶段除应做到查明场地岩土的工程特性、软弱地层、特殊岩土、不良地质作用分布、场地的稳定性等勘察通用要求外，尚需查明填料性质、储量及分布等以满足地势设计、土石方调配、原场地地基处理、填筑、排水、边坡等初步设计的要求。

**4.6.3**  详细勘察的工作除应包括本标准第4.2.4条的内容外，尚应包括下列内容：

**1**  查明填方区软弱土层的位置、范围、厚度，进行稳定性评价，对软弱土层的处理提出建议；

**2**  查明挖方区黄土填料的工程技术参数及工程性质，进行详细的分类和评价，确定填挖比系数；

**3**  提供不同工况下挖方边坡稳定性分析的物理力学参数，对填方边坡的填筑提出建议；

**4**  工程需要时，查明黄土高压力下的浸水饱和与湿化变形特性，预测地基的沉降量。

【条文说明】**4.6.3** 详细勘察阶段应根据不同场地分区，确定不同的勘察重点、勘察要求。挖方区应重点查明土石比、岩土的工程类别，评价填料的工程性质，确定填挖比系数，并提供各种填料的比例和各种料源分布，进行击实试验以确定不同料源的最优含水率和最大干密度，以及不同压实度条件下压缩性、湿陷性、抗剪强度等工程特性。填方区应重点查明原场地地层结构、岩土物理力学指标，尤其是软弱土层、特殊岩土、不良地质作用的分布，对地基处理提出建议及相关参数。地表水沿挖填交界区下渗可能对填方工程产生不利影响，挖填交界区应重点查明黄土湿陷性、落水洞等现象。

**4.6.4**  工程地质测绘与调查除应符合本标准第4.1.6条的要求外，尚应符合下列要求：

**1** 工程地质测绘与调查宜在初步勘察阶段进行，在详细勘察阶段可对专门地质问题进行补充测绘；

**2** 地形地貌、地质条件较复杂或基岩出露的场地应进行工程地质测绘，对地形地貌、地质条件简单的场地，可用调查代替测绘；

**3** 测绘和调查的范围应包括工程场地及对工程影响的周边区域，比例尺可选用1：1000～1：2000；对地形变化较大的区域和对工程有重要影响的滑坡、断层、洞穴等地质单元体，比例尺可选用1：100～1：500，条件复杂时，应选用更大比例尺。

 【条文说明】**4.6.4** 为查明场地及其附近的地形地貌、地质条件，对场地稳定性和适宜性做出评价，工程地质测绘和调查具有重要的意义。

为满足岩土工程勘察和水文地质勘察方案布置及评价的需要，工程地质测绘区域应包含整个工程场地所处的流域范围，其中工程规划区应作为重点区域。工程地质测绘和调查宜在初步勘察阶段进行；详细勘察时，可在初步勘察测绘与调查的基础上，对某些专门地质问题（滑坡、断裂等）作必要的补充调查。在进行过同比例尺（或更大比例尺）的区域地质和水文地质调查的地区，工程地质测绘应充分利用已有资料和遥感解译成果。在上述调查中已查明并达到标准要求的内容，工程地质测绘中可根据其动态变化并结合黄土挖填方地基工程特点进行补充调查和检查验证。

对工程有特殊意义的地质单元体，如滑坡、断层、特殊性岩土、洞穴和泉等都应进行测绘，必要时可用扩大比例尺表示，以便更好地解决岩土工程的实际问题；为了达到精度要求，通常要求在测绘填图中，采用比提交成图比例尺大一级的地形图作为填图的底图，以提高测绘的精度。对于大面积的挖填方地基工程，遥感解译对工程地质测绘有极大的帮助，所应用的遥感图像主要是航片（飞机拍摄）和卫片（卫星拍摄）。在初步解译阶段，对航片或卫片进行系统的立体观测，对地貌和第四纪地质进行解译，划分松散沉积物与基岩的界线，进行初步构造解译等；第二阶段是野外踏勘和验证，核实各典型地质体在照片上的位置，并选择一些地段进行重点研究，作实测地质剖面和采集必要的标本；最后阶段是成图，将解译资料，野外验证资料和其他方法取得的资料，集中转绘到地形底图上，然后进行图面结构的分析，如有不合理现象，要进行修正，重新解译或到野外复验。

**4.6.5**  勘探方法除应符合本标准4.1.3条的要求外，在地质条件复杂的地段宜采用综合物探方法，物探剖面宜结合勘探剖面布置，并应充分利用钻孔进行综合测试，成果资料应与其它地质勘察资料综合分析，互相验证。

 【条文说明】**4.6.5** 勘察工作方法应根据工程情况、地质环境条件和勘察阶段确定。

**4.6.6** 填方区勘探孔的布置应符合下列要求：

**1** 勘探线应采用纵横向断面双向布置，沿沟谷走向布置单条或多条纵向勘探线，沿沟谷横断面布置横向勘探线，每个地貌单元和不同地貌单元交接部位均应布置控制性勘探孔；初步勘察阶段勘探线间距不宜大于300m，详细勘察阶段勘探线间距不宜大于100m；在沟谷、坡脚、坡中和坡顶应布置勘探点。填方区勘探点间距宜符合表4.6.6的规定：

**2**  控制性勘探孔不应少于勘探点总数的1/4；

**3**  采取不扰动土样和原位测试的勘探孔数，初步勘察阶段不宜小于本标准第4.2.2条的要求，详细勘察阶段不宜小于本标准第4.2.4条的要求；

**4**  勘探孔深度应满足查明地基稳定性和控制变形计算深度要求，当遇到基岩时，控制性钻孔深度应进入中风化基岩不少于2m，一般性钻孔深度应进入中风化基岩不少于1m，探井深度应穿透湿陷性黄土层。

表4.6.6 填方区勘探点间距（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  勘察 阶段勘察等级 | 初步勘察阶段 | 详细勘察阶段 |
| 甲级 | 80~100 | 20~50 |
| 乙级 | 100~150 | 50~80 |
| 丙级 | 150~200 | 80~100 |

**4.6.7**  挖方区勘探孔布置应符合下列规定：

**1** 沿梁峁和地形坡向布置勘探线，初勘阶段勘探线间距不宜大于400m，详勘阶段勘探线间距不宜大于200m；料源区岩土特性变化较大时勘探点间距应加密。挖方区勘探点间距宜符合表4.6.7的规定。

表4.6.7 挖方区勘探点间距（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 勘察阶段勘察等级 | 初勘阶段 | 详勘阶段 |
| 甲级 | 100~150 | 50~80 |
| 乙级 | 150~200 | 80~100 |
| 丙级 | 200~300 | 100~150 |

**2**  勘探孔深度应达到初定场平标高以下3m，存在特殊地质情况时，应适当加密勘探孔，探井深度宜穿透湿陷性黄土层。

**4.6.8**  边坡区勘探点、线的布置应按本标准4.6.6、4.6.7的要求进行，勘探线（点）间距应符合表4.6.8的规定。

表4.6.8 边坡区勘探线（点）间距（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 勘察等级 | 边坡用地区 | 边坡影响区 |
| 填方区 | 挖方区 | 填方区 | 挖方区 |
| 甲级 | 10~20 | 30~50 | 30~50 | 50~100 |
| 乙级 | 20~30 | 50~80 | 50~80 | 100~150 |
| 丙级 | 30~50 | 80~100 | 80~100 | 150~200 |

注：表中间距主要针对详细勘察阶段，对初步勘察阶段可根据实际情况适当放宽。

**4.6.9**  勘探取样应符合下列规定：

**1**  填方区勘探孔取样深度小于10m时，取样间距宜为1m~2m；取样深度为10m~20m时，取样间距宜为2m~3m；取样深度超过20m时，取样间距可为3m，每一地层均应取样；

**2**  挖方区勘探孔取样深度小于20m时，取样间距宜为1m~3m；取样深度为20m~40m时，取样间距宜为3m~4m；取样深度超过40m时，取样间隔可为4m，每一地层均应取样；

**3**  填方区为软弱土层时宜连续取样，为岩层时岩样不应少于9件。

**4.6.10**  室内试验应符合下列规定：

**1**  不扰动土样应进行常规物理力学性质试验及湿陷性试验；

**2**  岩石应进行天然状态或饱和状态单轴抗压强度试验，其它试验指标根据工程实际需要确定；

**3** 填料应进行击实试验、颗粒分析试验和重塑土压缩试验。当需要评估地基变形的稳定时间时，宜进行高压蠕变试验；压缩试验和高压蠕变试验的终止压力应采用上覆土实际压力；

**4**  边坡稳定性计算参数的试验方法应符合现行国家标准《高填方地基技术标准》GB 51254的有关规定。

 【条文说明】**4.6.10**  黄土斜坡或缓坡上的湿陷性黄土、耕植土，均应采取土样进行试验，原场地地基土湿陷性和力学指标应采用填筑后所受实际压力进行试验和评价。

黄土高填方地基的变形机理复杂，除压缩变形外，蠕变变形也是高填方地基变形的重要组成部分，蠕变变形计算可参考国家标准《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025条文说明中的方法。

**4.6.11**  水文地质勘察应查明场区地下水的补给、径流、排泄条件及地下水埋深、动态变化、水质及与地表水的相互联系等水文地质条件，并应提出对地下水和地表水疏导排泄等措施的建议。水文地质勘察与岩土工程勘察应紧密结合，采用水文地质测绘、物探、钻探和现场试验等多种手段综合勘察。

【条文说明】**4.6.11** 黄土是具有较强水敏性的特殊土，水是诱发黄土高填方地基工程病害和地质灾害的关键因素。大厚度填方势必会改变原有水文地质条件，因此查清原场地水文地质条件特别重要，必要时应进行专门水文地质勘察。

大厚度填挖工程建设前后，地下水环境会发生明显的变化，地表水的下渗迁移、地下水位的变动等水文地质条件变化对黄土高填方地基工程的影响主要有三方面：一是导致黄土发生湿陷变形；二是导致原场地地基和填筑体中的非饱和压（夯）实黄土发生湿化变形；三是降低黄土的抗剪强度，导致边坡失稳。

大厚度填挖工程建设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。地下水对原场地地基、填筑体具有浸泡、软化和潜蚀等不良作用，这些作用往往引起填筑体过大工后沉降和边坡变形。施工改变了场地水文地质条件，因此要及时进行场地条件改变后相应的水文地质条件评价，设计、施工也应采取相应的治理措施。水文地质勘察应注意调查原场地地基和填筑体的岩土物理力学性质，分析地下水条件变化对工程的长期影响。

水文地质勘察应与工程地质勘察紧密结合，钻孔布置时，水文地质钻孔应充分利用工程地质钻孔。

**4.6.12**  场平工程勘察成果资料应包括以下主要内容：

**1**  报告书内容应包括勘察目的、任务要求和依据的技术标准，工程概况、勘察方法和勘察工作量布置，场地地形、地貌、地层、地质构造、岩土性质，挖方区岩土的性质指标、重塑土的压实参数，填方区岩土的强度参数、变形参数，土水对建筑材料的腐蚀性等以及可能影响场地工程稳定性的不良地质作用的描述与评价等；

**2**  勘察成果图件应包括勘探点平面布置图、工程地质柱状图、工程地质剖面图、原位测试成果图表和室内试验成果图表；工程地质测绘与调查和初步勘察成果宜附实际材料图、综合工程地质图、工程地质分区图、综合地质柱状图以及各种影像资料和文字说明等；

**3**  任务需要时可提交岩土工程及水文测试试验、检验或监测、事故调查与分析、专门岩土工程与水文地质的技术咨询报告等专题报告。

 【条文说明】**4.6.12** 场平工程勘察成果应满足用地、规划设计及施工要求。在成果资料整理中应重视素描图和影像资料的分析整理工作。这不仅有助于岩土工程成果资料的整理，而且在原场地地基处理、盲沟回填等一系列工程施工完成后，一旦需要研究分析或涉及法律诉讼，就比较容易恢复和重现一些重要的背景资料。

## 4.7 地质灾害勘察

Ⅰ 黄土崩塌

**4.7.1** 黄土崩塌勘察应包括下列内容：

**1**  调查崩塌地质背景，水文、气象条件；

**2** 查明地形地貌、地层岩性、地质构造与地震、水文地质特征、人类活动情况；

**3** 查明崩塌区黄土结构类型、节理裂隙的产状、组合关系、间距、充填闭合情况、延展及贯穿特征，崩塌体的大小、崩落方向和影响范围，分析对工程与环境的危害性；

**4** 湿陷性黄土分布范围、层位、厚度与湿陷等级；

**5** 查明崩塌前的迹象和崩塌原因；

**6** 评价崩塌的稳定性、影响范围、危害程度及工程建设的适宜性；

**7** 提供防治工程设计的岩土参数；

**8** 收集当地防治黄土崩塌的经验，提出防治措施和监测建议。

【条文说明】**4.7.1** 我省黄土地质灾害大部分为黄土崩塌，黄土的节理是控制黄土崩塌的主要构造因素，因此查明黄土的结构、节理裂隙的分布和特征对分析评价黄土崩塌具有重要的意义。

**4.7.2**  黄土崩塌工程地质调绘应符合下列规定：

**1** 黄土崩塌地段的工程地质调绘应收集地震、气象、水文、工程活动等资料，并与拟建建（构）物位置相结合，查明第4.7.1条的有关内容，对收集的自然地理及地质环境条件等资料进行现场复核；

**2** 地层界线、断层、黄土节理、张裂隙、地下水出露点等部位应布置调绘点；

3 黄土崩塌勘查应以地质测绘与调查为主，以勘探为辅；

4 崩塌工程地质测绘应在准确认识崩塌发育的工程地质条件基础上，分析崩塌稳定性的影响因素及其相互作用，对崩塌的稳定性作出宏观分析判断。

【条文说明】**4.7.2**  黄土崩塌工程地质勘察，工程地质调绘是主要的勘察方法。工程地质调绘应重点调查与崩塌关系密切的地质条件：注意调查地形地貌和微地貌特征（如斜坡坡度、高度、形态特征、台阶及陡坎的位置等）；注意查明地层岩性及其组合情况；注重查明黄土结构面的类型、产状、间距、延伸长度、深度、充填物及其性质，特别是控制黄土稳定的结构面及其组合情况；注意调查地下水出露的位置、水量、补给源以及地表水的入渗及渗流情况；注意收集当地的气象、地震、水文（与河流冲刷侵蚀有关的）资料，了解崩塌发生发展历史，调查崩塌发生的时间、频率，分析崩塌产生的原因和发展过程，评价崩塌对拟建工程的危害和影响。

**4.7.3** 黄土崩塌工程地质勘探测试应符合下列规定：

**1** 勘探宜采用挖探、钻探、物探等进行综合勘探。勘探测试点的数量和位置应根据地形地质条件及崩塌的发育特点确定；

**2** 控制崩塌的黄土节理面，应结合崩塌的稳定性分析，采用挖探、钻探、硐探等进行综合勘探；

**3**  崩塌体勘探深度应至稳定地层中不小于3m；

**4** 钻探应分层采取土样，取样后宜进行标准贯入试验；

**5** 钻探过程中遇地下水时，应量测地下水的初见水位和稳定水位；

**6** 所取土样应进行物理性质试验、湿陷性试验、抗剪强度试验。

**4.7.4** 黄土崩塌初步勘察应符合下列规定

**1** 初步勘察应结合建（构）筑物的工程方案进行1：2000工程地质调绘，调绘范围应包括不良地质体及对工程有影响的区域；

**2** 勘探、测试除应符合及第4.7.3条的规定外，尚应符合下列规定：

**1)**崩塌堆积体地段，宜做横断面勘探，每条勘探断面上勘探点的数量不宜少于2个；

**2)**存在危岩的地段，对控制黄土体稳定的节理裂隙面，应结合危岩稳定性分析，采用挖探、钻探、硐探等探明。

**3** 黄土崩塌初勘应提供下列资料：

**1)**文字说明：应对第4.7.1条崩塌勘察要求查明的内容进行说明，分析崩塌的稳定性，提出工程地质建议。

**2)**图表资料：应对崩塌的分布范围、黄土节理裂隙的产状、崩塌体的地层结构等进行图示和说明。提供1：500～1：2000工程地质平面图；1：200～1：500工程地质断面图；1：50～1：200工程地质钻孔柱状图；1：50～1：200探坑(井、槽)展示图；土工试验资料；物探曲线图表及照片等。

**4.7.5** 黄土崩塌详细勘察应符合下列规定：

**1** 详细勘察应对初勘调绘资料进行复核。地质条件需进一步查明时，应进行补充调绘，调绘的比例尺为1：500～1：2000；

**2** 详细勘察应充分利用初勘资料，除应符合第4.7.4条的规定外，尚应符合下列规定：

**1)**应结合崩塌稳定性分析，增加必要的勘探测试点，查明崩塌地质条件；

**2)**进一步查明崩塌的地质结构及稳定性。

**3** 崩塌详勘应按第4.7.4条的规定提供资料。

**4.7.6** 崩塌稳定性计算应根据崩塌的类型按附录F选择相应的计算公式进行计算。

**4.7.7** 黄土崩塌稳定性状态可按表4.7.7进行判别。

表4.7.7 黄土崩塌稳定性划分

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 崩塌类型 | 不稳定 | 欠稳定 | 基本稳定 | 稳定 |
| 倾倒式 | K＜1.0 | 1.0＜K＜1.3 | 1.3＜K＜1.5 | K≥1.5 |
| 滑移式、鼓胀式、错断式 | K＜1.0 | 1.0＜K＜1.2 | 1.2＜K＜1.3 | K≥1.3 |

Ⅱ 黄土滑坡

**4.7.8**  黄土滑坡勘察应包括下列内容：

**1** 滑坡勘查范围应包括滑坡及其邻区。勘查区后部应包括滑坡后壁以上一定范围的稳定斜坡，前部应包括剪出口以外一定范围的稳定地段，勘查区两侧应到达滑体以外一定距离或邻近沟谷；

**2** 调查滑坡区的地质背景，水文、气象条件；

**3** 查明滑坡区的地形地貌、地层岩性、地质构造与地震；

**4** 不同时代、不同成因的黄土层及下伏砂砾层或基岩等分布层次、不同岩土层接触面形态、倾斜情况与临空面的组合关系；

**5** 查明滑坡的类型、范围、规模、滑动方向、形态特征及边界条件、滑动带岩土特性，近期变形破坏特征、发展趋势、影响范围及对工程的危害性；

**6**  查明场地水文地质特征、地下水类型、补径排特征、泉及湿地的分布、含水层与隔水层的分布、岩土的渗透性等，重点查明不同岩土层间含水状态，黄土层中含上层滞水的土层、含水砂层与钙质结核层的分布状态及含水状态；

**7** 查明地表水分布、场地汇水面积、地表径流条件；

**8** 湿陷性黄土分布范围、层位、厚度与湿陷等级；

**9** 提供滑坡稳定性分析所需的岩土重度、抗剪强度等参数；

**10** 分析与评价滑坡稳定性、工程建设适宜性；

**11**  提供防治工程设计的岩土参数。

**12**  收集当地防治黄土滑坡的经验，提出防治措施和监测建议。

【条文说明】4.7.8 除风成块状黄土外的皇层状结构分布的黄土包括新黄上、冲积黄土等。由于黄土组成以粉粒为主，含钙质受水浸数后雕积黄土、洪积黄土、下伏层面倾斜6°时即可滑动，所以，对呈层状结构黄土滑坡勘察重点在查明各黄土层的浸水条件、含水层与隔水层的分布、被水浸湿的土层临空面的倾斜关系以及责土浸水软化后的c、φ值。

**4.7.9** 黄土滑坡工程地质调绘应符合下列规定：

**1**  滑坡工程地质调绘应与拟建建（构）物位置相结合，查明第4.7.8条的有关内容；

**2** 滑坡地质测绘应识别滑坡特征和滑坡要素，根据地形特征及地面裂缝分布规模判定滑坡范围、主滑方向及主滑线。对岩层露头，滑坡边界、滑坡裂缝、滑坡台阶、滑坡壁、滑坡鼓丘，地下水露头，地层接触线等部位应布置调绘点；

**3** 滑坡剪出口、裂缝等露头不良时，宜辅以挖探等进行调绘；

**4** 黄土滑坡地质调绘重点查明下列内容：

1)新、老黄土的分界面，古土壤层、粉细砂层、砂砾卵石层、钙质结核等夹层的分布和倾斜度，与下伏岩层接触面的形态、倾斜度和含水状态；

2)黄土柱状节理、卸荷裂隙等的分布、发育程度、组合关系情况；

3)新构造发育地区老黄土中构造裂隙的组合分布，特别是倾向临空面的裂隙产状和受水、气作用的情况。

**5** 黄土滑坡地质调绘应从滑坡体上的微地貌特征、植物生长状况、建（构）筑物变形破坏情况、地面开裂位移情况及井泉动态变化等方面对滑坡稳定性做出宏观分析判断。

**4.7.10** 黄土滑坡工程地质勘探测试应符合下列规定：

**1** 滑坡勘探应查明滑坡的岩土体结构、空间几何特征、水文地质条件、拟设治理工程位置的工程地质条件；

**2** 滑坡勘查应采用工程地质测绘与调查、钻探、井探、槽探、原位测试及室内试验等多种手段相结合的方法进行，必要时，可采用碉探、物探、钻孔全景光学成像等手段。勘探测试点的数量和位置应在工程地质调绘的基础上，根据滑坡的类型，规模、复杂程度，结合整治工程设计确定；

**3** 滑坡勘探点(断面)的布置应符合下列要求:

1)勘探点(线)应沿滑坡的主滑方向布置。当滑坡的规模大，性质复杂时，勘探点(断面)应结合滑坡的级块划分、滑坡稳定性分析以及整治工程设计等进行布置；

2)滑坡的勘探深度应至滑坡体以下的稳定地层内不小于3m。设置支挡工程部位，勘探点的深度应满足支挡工程设计的要求；

3)滑坡工程地质钻探应根据滑坡体及滑动面(带)的物质组成选择干钻、无泵反循环或双层岩芯管钻探等方法；

4)钻探应严格控制钻进回次。至预估的滑动面(带)以上5m或发现滑动面(带)迹象时，必须进行干钻，回次进尺不得大于0.3m，并及时检查岩芯，确定滑动面位置；

5)应在滑坡体及滑床地层中，分层采取岩，土，水试样；滑动面(带)应采取不扰动样；

6)物探断面宜与钻探断面一致。采用的物探方法应在方法试验的基础上确定。

**4** 滑坡工程地质测试应符合下列规定

1) 滑坡体、滑动面所取样品应进行物理性质试验、湿陷性试验、抗剪强度试验。

2) 应结合滑动条件和工程要求，选择进行不同含水率的直接、饱水剪切、重复直接、滑动面（带）重合剪、环状剪切等试验，确定黄土不同含水率的峰值强度和滑动面黄土残余强度。有条件时，宜进行原位大面积剪切试验。详勘时，同条件试验样品不应小于6组。

3) 钻探过程中遇地下水时，应量测初见水位，稳定水位，确定含水层厚度。地下水发育时，应做抽水试验。

4) 评价环境水、土的腐蚀性。

【条文说明】4.7.10 黄土滑坡的岩土试验，在基本物理力学性质试验的基础上，还要包含两方面的试验:(1）对于湿陷性黄土，需进行黄土湿陷性试验，包括湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷起始压力试验等。（2）滑动面（带）黄土抗剪强度试验包括峰值强度和残余强度试验，由于黄土组成以粉粒为主，对水很敏感，因此，要根据其含水状态进行不同含水率的剪切试验。对已有滑动面（带）的残余强度试验，要结合滑动条件和工程要求来选择做重复直剪试验、滑动面（带）重合剪试验、环状剪切试验。

**4.7.11** 黄土滑坡初步勘察应符合下列规定：

**1** 滑坡工程地质调绘的比例尺为1:2000，调绘的范围应包括滑坡及对滑坡有影响的区域。滑坡边界、滑坡台阶等滑坡要素应实测。

**2** 勘探测试除应符合第4.5.10条的规定外，尚应符合下列规定：

1)沿主滑方向布设勘探断面，滑坡宽度小于等于30m时勘探断面不应小于1条，滑坡宽度大于30m小于等于60m时勘探断面不应小于2条，滑坡宽度大于60m时勘探断面不应小于3条，垂直主滑方向的勘探断面不应小于1条。

2)每条勘探断面上的勘探点数量不少于3个，以初步查明滑面形态为原则。

3)宜与物探结合进行综合勘探。

4)稳定性难以判明的滑坡，应进行位移、变形观测。

**3**  滑坡初勘应提供下列资料：

1)文字说明：应对第4.7.8条滑坡勘察要求查明的内容进行说明，分析滑坡的稳定性，提出工程地质建议。

2)图表资料：应对滑坡分布的范围、分级与分块情况、滑坡要素、地下水等进行图示和说明。提供1:500～1:2000滑坡工程地质平面图；1:200～1:500滑坡工程地质断面图;1:50～1:200滑坡工程地质钻孔柱状图；1:50～1:200滑坡探坑(井、槽)展示图；土工试验资料；物探曲线图表；水文地质测试资料；滑坡动态观测资料及照片等。

【条文说明】4.7.11 滑坡的宽度是指滑坡体的最大宽度，初勘阶段滑坡的勘探断面需沿主滑动方向布置，除沿主滑动轴线布置主勘探断面外，对于滑体宽度比较大的滑坡，还要在主勘探断面两侧各布设1条勘探断面。勘探点主要布置在滑坡勘探断面上，包括钻孔和探井、探槽等。

**4.7.12** 黄土滑坡详细勘察应符合下列要求：

**1** 滑坡详细勘察应对初勘工程地质调绘资料进行复核。地质条件需进一步查明时，应结合滑坡处治工程设计进行1:500～1:2000补充工程地质调绘。

**2** 勘探测试除应符合第4.5.10条的规定外，尚应符合下列规定：

1)滑坡详勘应充分利用初勘资料，在补充工程地质调绘的基础上，结合滑坡的分级、分块、分层和排水工程设计，确定勘探测试点的数量和位置，勘探点间距宜为20～40m。

2)抗滑支挡工程轴线勘探断面不应小于1条，每条断面勘探点数量不应小于3个。

3)滑坡勘探断面上的地形，滑坡边界、滑坡裂缝，地下水出露点等应实测。

**3** 滑坡详细勘察应按第4.7.11条的规定提供资料。

【条文说明】4.7.12 详勘阶段滑坡勘察是在合理利用初勘资料基础上进行，勘探点的间距要根据滑坡复杂程度、滑动面（带）形态、地下水发育程度等不同而定。一般情况下；滑动面（带）为圆弧形或折线形时，勘探，点布置需加密；滑动面（带）为直线时，勘探点布置可以适当减少。

**4.7.13** 滑坡稳定性计算应根据滑坡的破坏类型按附录G选择相应的计算公式进行计算。

**4.7.14** 滑坡稳定性状态划分按照《建筑边坡工程技术规范》（GB50330）的规定执行。

# 5 试验与评价

## 5.1 测定黄土湿陷性的试验

**5.1.1** 测定黄土湿陷性的试验，分为室内压缩试验、现场静载荷试验和现场试坑浸水试验。

【条文说明】 **5.1.1**  测定黄土湿陷性的试验分为室内压缩试验、现场静载荷试验和现场试坑浸水试验。室内压缩试验主要用于测定黄土的湿陷系数、自重湿陷系数、湿陷起始压力和绘制压力-湿陷系数曲线；现场静载荷试验可测定黄土的湿陷性和湿陷起始压力；现场试坑浸水试验主要用于确定自重湿陷量的实测值，以判定场地湿陷类型和自重湿陷下限深度。

Ⅰ 室内压缩试验

**5.1.2** 采用室内压缩试验测定黄土的湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力均应符合下列要求：

**1** 土样的质量等级应为经评定后的Ⅰ级不扰动土样；

**2** 环刀面积不应小于5000mm2 ，使用前应将环刀洗净风干，透水石应烘干冷却；

**3** 加荷前应将环刀试样保持天然湿度；

**4**  试样浸水宜用蒸馏水；

**5** 试样浸水前和浸水后的稳定标准，应为每小时的下沉量不大于0.01mm。

【条文说明】 **5.1.2** 采用室内压缩试验测定黄土的湿陷性应遵守有关统一的要求，以保证试验方法和过程的统一性及试验结果的可比性。这些要求包括试验土样、试验仪器、浸水水质，试验变形稳定标准等方面。

湿陷系数和土的含水量存在相关关系，根据试验对比结果，透水石的干湿程度对湿陷系数试验结果有一定影响，使用前应将环刀洗净风干，透水石应烘干冷却。

**5.1.3** 测定湿陷系数除应符合5.1.2条的规定外，还应符合下列要求：

**1** 分级加荷至试样的规定压力，下沉稳定后，试样浸水饱和，水面宜高出试样顶面，直至试样变形稳定为止。

**2** 在0～200kPa压力以内，每级增量宜为50kPa，大于200kPa压力，每级增量宜为100kPa。

**3** 湿陷系数δs值，应按下式计算：

  （5.1.3）

式中 hp —保持天然湿度和结构的试样，加至一定压力时，下沉稳定后的高度（mm）；

hp＇—上述加压稳定后的试样，在浸水饱和作用下，附加下沉稳定后的高度（mm）；

h0—试样的原始高度（mm）。

**4** 测定湿陷系数的试验压力，应按土样深度和基底压力确定。土样深度应自基础底面（如基底标高不确定时，自地面下1.5m）算起；试验压力应按下列条件取值：

**1）**基底压力小于300kPa时，基底下10m以内的土层应用200kPa，10m以下至非湿陷性黄土层顶面，应用其上覆土的饱和自重压力；

**2）**当基底压力不小于300kPa时，宜用实际基底压力；当上覆土的饱和自重压力大于实际基底压力时，应用上覆土的饱和自重压力；当已明确采用刚性桩基础时，湿陷性试验压力宜按第1）条要求；

**3）**对压缩性较高的新近堆积黄土，基底下5.0m以内的土层宜用100～150kPa 压力 ，5～10m和10m以下至非湿陷性黄土层顶面，应分别用200kPa和上覆土的饱和自重压力。

**4）**对高填方场地，基底地基土湿陷性试验压力应根据实际填方高度和填筑材料通过计算确定。

【条文说明】 **5.1.3** 本条规定了室内压缩试验测定湿陷系数的试验程序，并列出了湿陷系数的计算式。

关于测定湿陷系数的压力，采用取土样位置将受到的实际压力(附加压力与上覆土的饱和自重压力之和)最为合适，但在勘察阶段，由于基础设计未最终确定，实际压力往往不能计算或计算过程较为复杂，后期变数较多，采用实际压力试验难度很大。如基础设计变更，地基进行处理，或采用桩基础，实际压力将相应发生变化，这些因素在勘察阶段要一一确定也不现实。勘察期间宜测定、绘制黄土的压力-湿陷系数(p-δs)曲线，为解决以后的评价提供数据依据，后期可根据实际压力对湿陷性重新评定。而勘察阶段采用统一的与实际压力接近的试验压力既能保证评价的准确度，又为勘察工作提供了便利，也有利于不同场地湿陷性的比较。若实际压力能确定，鼓励有条件的单位和工程，使用实际压力进行湿陷系数试验。

**5.1.4** 测定自重湿陷系数除应符合5.1.2条的规定外，还应符合下列要求：

**1** 分级加荷，加至试样上覆土的饱和自重压力，下沉稳定后，试样浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止；上覆土的饱和自重压力应自天然地面算起，挖、填方场地应自设计地面算起。

**2** 试样上覆土的饱和密度，可按下式计算：

  （5.1.4-1）

式中 ρs —土的饱和密度（g/cm3）；

ρd— 土的干密度（g/cm3）；

Sr—土的饱和度，可取Sr=85%；

e—土的孔隙比；

ds—土粒相对密度。

**3** 当场地填挖方高度较大时，试验压力应结合工程应用条件进行确定。

**4** 自重湿陷系数δzs值，可按下式计算：

  （5.1.4-2）

式中 hz—保持天然湿度和结构的试样，加压至该试样上覆土的饱和自重压力时，下沉稳定后的高度（mm）；

h´z— 上述加压稳定后的试样 在浸水饱和作用下，附加下沉稳定后的高度（mm）；

h0— 试样的原始高度（mm）。

**5.1.5** 测定湿陷起始压力除应符合5.1.2条的规定外，还应符合下列要求：

**1** 可选用单线法压缩试验或双线法压缩试验，对甲类建筑应有一定数量土样进行单线法试验。

**2** 从同一土样中所取环刀试样，其密度差值不得大于0.03g/cm3。

**3** 在0～150kPa压力以内，每级增量宜为25～50kPa，大于150kPa压力每级增量宜为50～100kPa。

**4** 测定压力-湿陷系数(p-δs)曲线时，试验最大压力应大于土样所处位置处附加压力与上覆土的饱和自重压力之和；

**5** 单线法压缩试验不应少于5个环刀试样，均在天然湿度下分级加荷，分别加至不同的规定压力，下沉稳定后，各试样浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止。

**6** 双线法压缩试验，应按下列步骤进行：

**1）**应取2个环刀试样，分别对其施加相同的第一级压力，下沉稳定后应将2个环刀试样的百分表读数调整一致，调整时并应考虑各仪器变形量的差值。

**2）**应将上述环刀试样中的一个试样保持在天然湿度下分级加荷，加至最后一级压力，下沉稳定后，试样浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止。

**3）**应将上述环刀试样中的另一个试样浸水饱和，附加下沉稳定后，在浸水饱和状态下分级加荷，下沉稳定后继续加荷，加至最后一级压力，下沉稳定，试验终止。

**4）**当天然湿度的试样在最后一级压力下浸水饱和，附加下沉稳定后的高度与浸水饱和试样在最后一级压力下的下沉稳定后的高度不一致，且相对差值不大于20%时，应以前者的结果为准，对浸水饱和试样的试验结果进行修正；如相对差值大于20%时，应重新试验。

【条文说明】**5.1.5** 在室内测定土样的压力-湿陷系数(p-δs)曲线和湿陷起始压力有单线法和双线法两种。单线法试验较为复杂，双线法试验相对简单，已有的研究资料表明，只要对试样及试验过程控制得当，两种方法得到的湿陷起始压力试验结果基本一致。

Ⅱ 现场静载荷试验

**5.1.6** 在现场测定湿陷性黄土的湿陷起始压力，可采用单线法静载荷试验或双线法静载荷试验，并应分别符合下列要求：

**1** 单线法静载荷试验：在同一场地的相邻地段和相同标高，应在天然湿度的土层上设3个或3个以上静载荷试验，分级加压，分别加至各自的规定压力，下沉稳定后，向试坑内浸水至饱和，附加下沉稳定后，试验终止；

**2** 双线法静载荷试验：在同一场地的相邻地段和相同标高，应设2个静载荷试验。其中一个应设在天然湿度的土层上分级加压，加至规定压力，下沉稳定后，试验终止；另一个应设在浸水饱和的土层上分级加压，加至规定压力，附加下沉稳定或确认土体已破坏后，试验终止。

【条文说明】 **5.1.6** 现场静载荷试验主要用于测定非自重湿陷性黄土场地的湿陷起始压力，自重湿陷性黄土场地的湿陷起始压力值小，无使用意义，一般不在现场测定。

在现场测定湿陷起始压力与室内试验相同，也分为单线法和双线法。二者试验结果有的相同或接近，有的互有大小。一般认为，单线法试验结果较符合实际，但单线法的试验工作量较大，在同一场地的相同标高及相同土层，单线法需做3台及以上静载荷试验，而双线法只需做2台静载荷试验(一台为天然湿度，一台为浸水饱和)。本条对现场测定湿陷起始压力的方法与要求作了规定，可选择其中任一方法进行试验。

**5.1.7** 在现场采用静载荷试验测定湿陷性黄土的湿陷起始压力，尚应符合下列要求：

**1** 承压板的底面积宜为0.50m2，试坑边长或直径应为承压板边长或直径的3倍，安装载荷试验设备时，应注意保持试验土层的天然湿度和原状结构，压板底面下宜用10～15mm厚的粗、中砂找平。

**2** 每级加压增量不宜大于25kPa，试验终止压力不应小于200kPa。

**3** 每级加压后，按每隔15、15、15、15min各测读1次下沉量，以后为每隔30min观测1次，当连续2h内，每1h的下沉量小于0.10mm时，认为压板下沉已趋稳定，即可加下一级压力。

**4** 试验结束后，应根据试验记录，绘制判定湿陷起始压力的p-Ss曲线图。

【条文说明】**5.1.7**  本条对现场静载荷试验的承压板面积、试坑尺寸、分级加压增量和加压后的观测时间及稳定标准等进行了规定。

通过大量试验研究比较，测定黄土湿陷和湿陷起始压力，承压板面积宜为0.50m2，压板底面宜为方形或圆形，试坑深度宜与基础底面标高相同或接近。

Ⅲ 现场试坑浸水试验

**5.1.8** 在现场采用试坑浸水试验确定自重湿陷量的实测值和自重湿陷下限深度时，应符合下列要求：

**1** 试坑宜挖成圆（或方）形，其直径（或边长）不应小于湿陷性黄土层的底面深度，并不应小于10m；试坑深度宜为0.5m，最深不应大于0.8m。坑底铺设100mm厚的砂、砾石等。

**2** 在坑底中部及其它部位，应对称设置观测自重湿陷的深标点，设置深度及数量按各湿陷性黄土层顶面深度及分层数确定，最大埋设深度应大于室内试验确定的自重湿陷下限深度。在试坑底部，由中心向坑边以不少于3个方向设置观测自重湿陷的浅标点，标点间距一般坑内以等间距布置，坑外沿线标点方向10m或20m内设置地面观测标点，以非等间距布置，坑边间距较小，离坑越远间距越大，坑外最远标点距坑边不应小于湿陷性土层厚度的1.6～2.0倍；标点底部埋深宜按0.5m控制；观测精度宜为±0.5mm。

**3** 浸水期间应保持坑内水头高度不变，高度宜控制在300mm。浸水过程中，应观测湿陷量、耗水量、浸湿范围和地面裂缝发育范围、深度等。湿陷稳定可停止浸水，其稳定标准为最后5d的平均湿陷量小于1mm/d。

**4** 为缩短浸水试验时间，在设置观测标点前，可在坑底打一定数量和深度的渗水孔，孔内应填满砂砾。

**5** 试坑内停止浸水后，应继续观测不小于10d，且最后连续5d的平均下沉量不大于1mm/d，试验终止。

【条文说明】**5.1.8**  现场试坑浸水试验可确定自重湿陷量的实测值，用以判定场地湿陷类型比较准确可靠，但浸水试验时间较长，一般需要1个月～2个月，并且需要较多的用水。本标准规定，在缺乏经验的新建地区，对甲类和乙类中的重要建筑，应采用试坑浸水试验，乙类中的一般建筑和丙类建筑以及有建筑经验的地区，均可按自重湿陷量的计算值判定场地湿陷类型。进行现场试坑浸水试验的场地应选择具有良好代表性的地段，不宜选择对后续地基处理设计和施工造成不利影响的地段。

本条规定了浸水试坑尺寸采用“双指标”控制，此外，还规定了观测自重湿陷量的深、浅标点埋设方法和观测要求以及停止浸水的稳定标准等。上述规定对确保实验数据的完整性和可靠性具有实际意义。

## 5.2 黄土湿陷性评价

**5.2.1** 黄土的湿陷性，应按室内浸水（饱和）压缩试验，在一定压力下测定的湿陷系数δs进行判定，并应符合下列规定：

**1** 当湿陷系数δs值<0.015时，应定为非湿陷性黄土；当湿陷系数δs≥0.015时，应定为湿陷性黄土。

**2** 湿陷性黄土的湿陷程度划分，可根据δs值的大小分为下列三种：

**1**）当0.015≤δs≤0.030时，湿陷性轻微；

**2**）当0.030＜δs≤0.070时，湿陷性中等；

**3**）当δs＞0.070时，湿陷性强烈。

【条文说明】5.2.1 多年来的试验研究资料和工程实践表明，湿陷系数δs≤0.030的湿陷性黄土，湿陷起始压力较大，地基受水浸湿时，湿陷性轻微，对建筑物危害性较小；0.030＜δs≤0.070的湿陷性黄土，湿陷性中等或较强烈，湿陷起始压力小的具有自重湿陷性，地基受水浸湿时，下沉速度较快，附加下沉量较大，对建筑物有一定危害性；δs＞0.070的湿陷性黄土，湿陷起始压力小的具有自重湿陷性，地基受水浸湿时，下沉速度快，附加下沉量大，对建筑物危害性大。勘察、设计，尤其是地基处理，应根据湿陷程度及特点区别对待。△’zs

**5.2.2** 湿陷性黄土场地的湿陷类型，应按自重湿陷量的实测值△’zs或计算值△zs判定，并应符合下列规定：

**1**  当自重湿陷量的实测值△’zs或计算值△zs小于或等于70mm时，应定为非自重湿陷性黄土场地；

**2** 当自重湿陷量的实测值△＇zs或计算值△zs大于70mm时，应定为自重湿陷性黄土场地；

**3** 当自重湿陷量的实测值和计算值出现矛盾时，应按自重湿陷量的实测值判定。

【条文说明】 5.2.2 自重湿陷量实测值是在现场采用试坑浸水试验测定的，自重湿陷量计算值是在现场采取不同深度的不扰动土样，通过室内浸水压缩试验测定的自重湿陷系数考虑地区因素后计算得出的。

由于土样在采取、运输、制作等环节不可避免的扰动，试样制作和试验过程的人为因素，土样取出后应力状态的改变，试验时完全侧限的应力状态和实际状态的差别，土样的代表性强弱，以及现场浸水试验时天然状态下地层结构的影响等，自重湿陷量计算值和实测值很难完全吻合。当有现场浸水试验数据时，应以现场试验的结果作为评价标准。

**5.2.3** 湿陷性黄土场地自重湿陷量的计算值△zs，应按下式计算：

  （5.2.3）

式中 ——第i层土的自重湿陷系数；

hi——第i层土厚度（mm）；

β0——因地区土质而异的修正系数，在缺乏实测资料时，可按下表5.2.3规定取值：

表5.2.3 修正系数β0取值

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 分区 | ② | ③ | 其他区 |
| β0 | 1.20 | 0.90 | 0.50 |

注：黄土工程地质分区详见附录A。

自重湿陷量的计算值△zs，应自天然地面（当挖、填方的厚度和面积较大时，应自设计地面）算起，计算至其下非湿陷性黄土层的顶面止；勘探点未穿透湿陷性黄土层时，应计算至控制性勘探点深度止；其中自重湿陷系数*δzs*值小于0.015的土层不累计。

**5.2.4** 湿陷性黄土地基受水浸湿饱和，其湿陷量的计算值△s应符合下列规定：

**1** 湿陷量的计算值△s，应按下式计算：

  （5.2.4）

式中 —第i层土的湿陷系数，按5.1节规定试验取值；若建筑物基础尺寸和基底压力已知，也可采用p-δs曲线上按基础附加压力和上覆土饱和自重压力之和对应的δs值；轨道交通中地下车站、区间隧道湿陷系数同自重湿陷系数；

——第i层土厚度（mm）；

β——考虑基底下地基土的受力状态和地区等因素的修正系数，在缺乏实测资料时，可按下列规定取值：

**1）**基底下0～5m深度内，取β＝1.50；

**2）**基底下5～10m深度内，非自重湿陷性黄土场地取β＝1.00，自重湿陷性黄土场地可取工程所在地区的β0值且不小于1.0；

**3）**基底下10m以下至非湿陷性黄土层顶面，晋西地区取1.0，其它区取所在区的β0值。

4）地下车站、区间隧道修正系数同β0值

α—地基土浸水机率系数，按表5.2.4规定取值。

表5.2.4 地基土浸水机率系数

|  |  |
| --- | --- |
| 基础底面下深度（m） | α（建议值） |
| 0～10 | 1.0 |
| 10～20 | 0.9 |
| 20～25 | 0.6 |
| >25 | 0.5 |

**2** 当存在地下水上升时，按评估的可能最高水位向上加2.0m，此深度以下土层的α值，取1.0；当评估回避不了侧向浸水可能时，对侧向浸水影响范围内土层的α值，取1.0。

**3** 湿陷量的计算值△s的计算深度，应自基础底面（如基底标高不确定时，自地面下1.50m）算起；在非自重湿陷性黄土场地，累计至基底下10m深度止；在自重湿陷性黄土场地，累计至非湿陷黄土层的顶面止，其中湿陷系数δs小于0.015的土层不累计。

【条文说明】5.2.4 本条提出了湿陷量计算公式：

1 公式(5.2.4)计算湿陷量采用饱和状态下的湿陷系数，但并不意味着地基土只在饱和状态下才产生湿陷。主要是考虑在实际应用中统一标准，便于比较，故按最不利情况进行计算。

2 计算△s时所用的δsi，以最接近地基的实际应力状态为好，因此首选采用p-δs曲线上按基础附加压力和上覆土饱和自重压力之和对应的δs值。压力不能确定时取本标准第5.1节规定的试验值。

3 根据试验研究资料，基底下地基土在发生竖向压缩的同时会产生侧向挤出，侧向挤出与地基土本身性质、基底压力大小、基础宽度及侧向约束强度等因素有关。为使计算湿陷量更接近实际，引入修正系数β以反映侧向挤出以及地区因素等各种因素的影响。

4 根据未打浸水孔的自然浸水试验资料，平面范围有限的地表水自然向下渗透时。地基土达到饱和的时间和深度是非线性关系，即地基土所处位置越深越难以达到饱和，而且似乎存在一个渗透下限，说明土层浸水概率随深度的增加而减小。本次引入了地基浸水机率系数α以反映这一规律，仅是对于建成后水只有自上而下渗入地基这一种可能性时可采用修正系数，对于地下水有上升至湿陷土层内可能性时，修正系数取1。

5 非自重湿陷性黄土场地，在地基附加应力影响范围以下的地基土不会产生湿陷，因此湿陷量计算累计深度不得小于压缩层深度，且不得小于10m。在自重湿陷性黄土场地，累计至非湿陷性黄土层的顶面止。

**5.2.5** 湿陷性黄土的湿陷起始压力psh值，可按下列方法确定：

**1**  当按现场静载荷试验结果确定时，应在p-ss（压力与浸水下沉量）曲线上，取其转折点所对应的压力作为湿陷起始压力值。当曲线上的转折点不明显时，可取浸水下沉量（ss）与承压板直径（d）或宽度（b）之比值等于0.017所对应的压力作为湿陷起始压力值。

**2** 当按室内压缩试验结果确定时，在p-δs。曲线上宜取δs＝0.015所对应的压力作为湿陷起始压力值。

【条文说明】5.2.5 湿陷起始压力是反映非自重湿陷性黄土特性的重要指标，具有实用价值。本条规定了按现场静载荷试验结果和室内压缩试验结果确定湿陷起始压力的方法。前者根据20组静载荷试验资料，按湿陷系数δs＝0.015所对应的压力，相当于在p-δs曲线上的ss／b(或ss／d)＝0.017。为此规定，如p-ss曲线转折点不明显时，取浸水下沉量(ss)与承压板直径(d)或宽度(b)之比等于0.017所对应的压力为湿陷起始压力。

**5.2.6** 湿陷性黄土地基的湿陷等级，应根据自重湿陷量计算值或实测值和湿陷量计算值，按表5.2.6判定。

表5.2.6 湿陷性黄土地基的湿陷等级

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  △S（mm） △Zs（mm）场地湿陷类型 | 非自重湿陷性场地 | 自重湿陷性场地 |
| △ZS≤70 | 70＜△ZS≤350 | △ZS＞350 |
| △S≤100 | Ⅰ（轻微） | Ⅰ（轻微） | Ⅱ（中等） |
| 100＜△ZS≤300 | Ⅱ（中等） |
| 300＜△ZS≤700 | Ⅱ（中等 | Ⅱ（中等）或Ⅲ（严重） | Ⅲ（严重） |
| △S＞700 | Ⅱ（中等 | Ⅲ（严重） | Ⅳ（很严重） |

注：对70＜△zs≤350、300＜△s≤700一档的划分，当湿陷量的计算值△s＞600mm、自重湿陷量的计算值△zs＞300mm时，可判为Ⅲ级，其他情况可判为Ⅱ级。

# 6 地基设计

## 6.1 一般规定

**6.1.1**  湿陷性黄土场地上的建筑物工程设计，应根据场地湿陷类型、地基湿陷等级和地基处理后下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值或剩余湿陷量，结合当地建筑经验和施工条件等因素，综合确定采取的地基基础措施、结构措施、防水措施，并应符合下列规定：

**1** 湿陷性黄土地基上的甲类建筑，按本标准第 7.1.1 条或 7.1.2 条第 1 款的规定处理地基时，应采取基本防水措施，结构措施可按一般地区的规定设计；当按本标准第7.1.2 条第2 款的规定处理时，应采取检漏防水措施或严格防水措施，并宜加强上部结构刚度。

**2** 湿陷性黄土地基上的乙类建筑，按本标准第 7.1.4 条第 1 款、第 2 款处理地基时，应采取结构措施和检漏防水措施。地基为大厚度湿陷性黄土地基时，地基处理应符合本标准 7.1.4 条第 3 款的规定，并应采取严格的防水措施，加强上部结构刚度，基础采取刚度好的形式，并宜按防水要求处理。

**3** 湿陷性黄土地基上的丙类建筑，地基湿陷等级为Ⅰ级时，应采取结构措施和基本防水措施；地基湿陷等级为Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ级时，应采取结构措施和检漏防水措施。地基为大厚度湿陷性黄土地基时，应采取严格防水措施，加强上部结构刚度，并宜采取刚度较好的基础形式。

**4** 湿陷性黄土地基上的丁类建筑，其地基可不处理。但应采取其他措施，地基湿陷等级为Ⅰ级时，应采取基本防水措施；地基湿陷等级为Ⅱ级时，应采取结构措施和基本防水措施；地基湿陷等级为Ⅲ、Ⅳ级时，应采取结构措施和检漏防水措施。

**5** 室内设备基础地基处理应根据其重要性和使用要求、场地的湿陷类型和湿陷程度、地基湿陷等级及受水浸湿可能性的大小等因素综合确定。

**6** 在自重湿陷性黄土场地，室内地面有严格要求时，应有一定的地基处理厚度，并应采取检漏防水措施或严格防水措施。

【条文说明】**6.1.1** 设计措施的选取关系到建筑物的安全与技术经济的合理性，本条根据湿陷性黄土地区的建筑经验，对一般湿陷性黄土地基的甲、乙、丙三类建筑采取的措施以地基处理措施为主；对大厚度湿陷性黄土地基上的甲类建筑，原则上应消除地基的全部湿陷量，但当湿陷性土层厚度特别大时，全部处理确有困难，采用本标准第7.1.2条第2款规定的最小处理厚度时，应进行充分论证，采取加强防水措施、结构措施等其他措施补偿，确保安全可靠；大厚度湿陷性黄土地基上的乙、丙类建筑，应采取以地基处理为主，更加严格的防水措施，加强建筑物的基础及上部刚度，宜采取能调整建筑物沉降变形的基础形式；对丁类建筑采取以防水措施为主的指导思想。

**6.1.2** 符合下列条件之一时，地基基础可按一般地区的规定设计：

**1**  在非自重湿陷性黄土场地，地基内各层土的湿陷起始压力值，均大于其附加压力与上覆土的饱和自重压力之和；

**2**  基底下湿陷性黄土层已经全部挖除或已全部处理；

**3** 丙类、丁类建筑地基湿陷量计算值小于或等于50mm。

【条文说明】**6.1.2**  本条所列前2种地基浸水后不发生湿陷；第3种情况，仅针对丙类和丁类建筑，计算总湿陷量小于50mm时可按非湿陷性地基对待。按一般地区的规定设计地基基础、防排水措施和结构措施，可降低工程造价，节约投资。

## 6.2 地基计算

**6.2.1** 湿陷性黄土场地自重湿陷量的计算值和地基湿陷量的计算值，应按本标准5.2.3条和5.2.4条规定进行计算。

【条文说明】**6.2.1** 计算黄土地基的湿陷变形，主要目的在于：

**1** 根据自重湿陷量的计算值判定建筑场地的湿陷类型；

**2** 根据基底下各土层累计的湿陷量和自重湿陷量的计算值等因素，判定湿陷性黄土地基的湿陷等级；

**3** 对于湿陷性黄土地基上的乙、丙类建筑，根据地基处理后的剩余湿陷量并结合其他综合因素，确定设计措施的采取。

对于甲类、乙类建筑或有特殊要求的建筑，由于荷载和压缩层深度比一般建筑物相对较大，所以在计算地基湿陷量或地基处理后的剩余湿陷量时，可考虑按实际压力相应的湿陷系数和压缩层深度的下限进行计算。

**6.2.2**  乙、丙类建筑在新近堆积黄土场地上，如地基处理厚度小于新近堆积黄土层厚度时，应按照本标准7.1.7条验算下卧层承载力并计算地基压缩变形。

**6.2.3** 湿陷性黄土地基的变形计算和允许值，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定。其沉降计算经验系数可按下表取值。

表6.2.4 沉降计算经验系数

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| （MPa） | 3.30 | 5.00 | 7.50 | 10.00 | 12.50 | 15.00 | 17.50 | 20.00 |
|  | 1.80 | 1.22 | 0.82 | 0.62 | 0.50 | 0.40 | 0.35 | 0.30 |

【条文说明】**6.2.3**  变形计算在地基计算中的重要性日益显著，对于湿陷性黄土地基，有以下几个特点需要考虑：

1 本标准明确规定在湿陷性黄土地区的建设中，采取以地基处理为主的综合措施，所以在计算地基的压缩变形时，应考虑地基处理后压缩层范围内土的压缩性的变化，采用地基处理后的压缩模量作为计算依据。

2 湿陷性黄土在近期浸水饱和后，土的湿陷性消失并转化为高压缩性，对于这类饱和黄土地基，一般应进行地基变形计算。

3 对需要进行变形验算的黄土地基，其变形计算和变形允许值，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007的规定。

4 计算地基变形时，传至基础底面上的荷载效应，应按正常使用极限状态标准永久组合，不应计入风荷载和地震作用。

**6.2.4** 湿陷性黄土地基承载力的确定，应符合下列规定：

**1** 地基承载力特征值，在地基稳定的条件下，应使建筑物的沉降量不超过允许值；

**2**  甲类、乙类建筑的地基承载力特征值，宜根据静载荷试验或其他原位测试结果，结合土性指标及工程实践经验综合确定；

**3**  当有充分依据时，对丙类、丁类建筑，可根据当地经验确定；

**4** 对天然含水量小于塑限含水量的土，可按塑限含水量确定土的承载力。

【条文说明】**6.2.4** 本条对黄土地基承载力明确了以下几点：

1)与现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007相适应，以地基承载力特征值作为地基计算的代表数值。其定义为在保证地基稳定的条件下，使建筑物或构筑物的沉降量不超过容许值的地基承载能力。

2)本条所指承载力是湿陷性黄土地基在天然含水量状态下的承载力。使用此承载力有一定的条件限制，就是按照本标准采取了规定的地基处理、防水措施或结构措施。根据本标准第7章的规定，建筑地基的湿陷性需要按规定进行处理，如湿陷性土层未处理完，下部未处理湿陷性土层的承载力的确定适用于本条规定。或采用天然地基(如丙类、丁类建筑符合某些条件时可不处理地基，或非自重场地上湿陷起始压力大于基底压力等情况)时，如出现本条第4款规定情形，承载力按塑限含水量确定的规定更符合建筑物使用后的实际情况，安全度更高一些。

3)本条第2款主要突出了两个重点：一是强调了载荷试验及其他原位测试的重要作用；二是强调了系统总结工程实践经验的重要性。

**6.2.5** 基础底面积应按正常使用极限状态下荷载效应的标准组合，并应按修正后的地基承载力特征值确定。偏心荷载作用下，相应与荷载效应标准组合，基础底面边缘的最大压力值，不应超过修正后地基承载力特征值的1.20倍。

**6.2.6** 当基础宽度大于3m或埋置深度大于1.50m时，地基承载力特征值应按下式修正：

 fa= fak+ηbγ（b-3）+ηdγm（d-1.50） （6.2.6）

式中：*f*a——修正后的地基承载力特征值（kPa）；

*f*ak———地基承载力特征值（kPa）；

*η*b、*η*d——基础宽度和埋深的地基承载力修正系数，按基底下土的类别查表6.2.6取值；

*γ*——基础底面以下土的重度（kN/m3），地下水位以下取浮重度；

*b*——基础底面宽度（m），当基础底面宽度小于3m时按3m取值，大于6m时按6m取值；

*γ*m——基础底面以上土的加权平均重度（kN/m3），位于地下水位以下的土层取有效重度；

*d*——基础埋置深度（m），宜自室外地面标高算起。在填方整平地区，可自填土地面标高算起，但填土在上部结构施工后完成时，应从天然地面标高算起。对于地下室，如采用箱形基础或筏基时，基础埋置深度自室外地面标高算起；当采用独立基础或条形基础时，应从室内地面标高算起。

表6.2.6 基础宽度及埋深的地基承载力修正系数

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的类别 | 有关物理指标 | 承载力修正系数 |
| *η*b | *η*d |
| 晚更新世（Q3），全新世（）湿陷性黄土 | 24% | 0.200 | 1.251.10 |
| 新近堆积（）黄土 | W>24% | 0 | 1.00 |
| 饱和黄土①② | e及*I*L都小于0.85e或*I*L大于0.85e及*I*L都不小于1.00 | 0.2000 | 1.251.101.00 |

**6.2.7** 湿陷性黄土地基的稳定性验算，除应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB50007的有关规定外，还应符合下列要求：

**1** 确定滑动面时，应考虑湿陷性黄土中存在的竖向节理和裂隙；裂隙深度可采用静止直立高度计算。

**2** 对有可能受水浸湿的湿陷性黄土地基土的强度指标应按饱和状态的试验结果确定。

【条文说明】**6.2.7** 对于黄土地基的稳定性计算，除满足一般要求外，针对黄土地区的特点，增加了两条要求。一条是在确定滑动面(或破裂面)时，应考虑到黄土地基(包括斜坡)的滑动面(或破裂面)与饱和软黏土和一般黏性土是不相同的；另一条是在可能被水浸湿的黄土地基，强度指标应根据饱和状态的试验结果求得。这是因为对于湿陷性黄土来说，含水量增加会使强度显著降低。

## 6.3 桩基础

**6.3.1** 湿陷性黄土场地上的建筑物，符合下列条件之一时，宜采用桩基础：

**1** 采用地基处理措施不能满足设计要求的建筑；

**2** 对整体倾斜有严格要求的高耸建筑；

**3**  对不均匀沉降有严格限制的建筑和设备基础；

**4** 主要承受水平荷载和上拔力的建筑和基础；

**5** 经技术经济综合分析比较，采用地基处理不合理的建筑。

【条文说明】**6.3.1**  湿陷性黄土场地，地基一旦浸水，便会引起湿陷给建筑物带来危害，特别是对于上部结构荷载大并集中的甲、乙类建筑；对整体倾斜有严格限制的高耸结构；对不均匀沉降有严格限制的甲类建筑和设备基础以及主要承受水平荷载和上拔力的建筑或基础等，均应从消除湿陷性的危害角度出发，针对建筑物的具体情况和场地条件，首先从经济技术条件上考虑采取可靠的地基处理措施，当采用地基处理措施不能满足设计要求或经济技术分析比较，采用地基处理不适宜的建筑，可采用桩基础。

**6.3.2** 湿陷性黄土场地的甲类、乙类建筑物桩基，其桩端应穿透湿陷性黄土层，并应选择压缩性较低的岩土层作为桩端持力层。自重湿陷性黄土场地的桩基，桩端应穿透湿陷性黄土层或采取消除土层湿陷性对桩基影响的处理措施。

【条文说明】6.3.2 在湿陷性黄土场地采用桩基础，桩周黄土在浸水后会发生软化导致桩侧极限摩阻力减小，在自重湿陷性黄土场地，还可能产生负摩阻力，使桩的轴向力加大而产生较大沉降。

**6.3.3**  在湿陷性黄土场地选用桩基类型时，应根据工程要求、场地湿陷类型、湿陷性黄土厚度、桩端持力层的土质情况、施工条件和场地周围环境等因素综合确定。可选用钻、挖孔（扩底）灌注桩，挤土成孔灌注桩，静压或打入的预制钢筋混凝土桩等桩型。

【条文说明】**6.3.3** 在湿陷性黄土地区，采用的桩型主要有：钻、挖孔(扩底)灌注桩，沉管灌注桩，静压桩和打入式钢筋混凝土预制桩等。选用桩型时，应根据工程要求、场地湿陷类型、地基湿陷等级、岩土工程地质条件、施工条件及场地周围环境等综合因素确定。如在非自重湿陷性黄土场地，可采用钻、挖孔(扩底)灌注桩；在地基湿陷性等级较高的自重湿陷性黄土场地，宜采用干作业成孔(扩底)灌注桩；还可充分利用黄土直立性好的特性，采用人工挖孔(扩底)灌注桩；在可能条件下，可采用混凝土预制桩，沉桩工艺有静力压入法和打入法两种。但打入法因噪声大和污染严重，不宜在城市中采用。

**6.3.4** 湿陷性黄土场地的桩基，其单桩竖向承载力特征值的确定应符合下列规定：

**1** 基底下湿陷性黄土层厚度不小于10m时，单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载荷浸水试验确定。单桩竖向静载荷浸水试验应符合本标准附录H的规定。

**2** 基底下湿陷性黄土层厚度小于10m或单桩竖向静载荷试验进行浸水试验确有困难时，单桩竖向承载力特征值可按有关经验公式和本标准第6.3.5条、第6.3.6条的规定进行估算。

【条文说明】**6.3.4** 基底下湿陷性黄土层的厚度越大，湿陷性可能越严重，由此产生的危害也可能越大。鉴于目前根据有关经验公式和室内试验评价湿陷性的结果估算单桩竖向承载力还往往与实际存在较大差别，规定基底下湿陷性黄土层厚度较大时，单桩竖向承载力特征值应通过单桩竖向静载荷浸水试验确定，以便为更合理的桩基础设计提供更为可靠的基础资料。

**6.3.5** 在非自重湿陷性黄土场地，计算单桩竖向承载力时，湿陷性黄土层内的桩长部分可取桩周土在饱和状态下的正侧阻力。

**6.3.6** 在自重湿陷性黄土场地，单桩竖向承载力的计算除不应计中性点深度以上黄土层的正侧阻力外，尚应扣除桩侧的负摩阻力，并应符合下列规定：

**1** 负摩阻力值宜通过现场浸水试验测定，无场地负摩阻力实测资料时，可按表6.3.6中的数值估算。

表6.3.6 桩侧平均负摩阻力特征值(kPa)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 自重湿陷量的计算值或实测值（mm） | 钻、挖孔灌注桩 | 打（压）入式预制桩 |
| 70~200 | 10 | 15 |
| ≥200 | 15 | 20 |

**2** 中性点深度可通过下列方式确定：

**1)** 单桩竖向静载荷浸水试验实测；

**2)** 浸水饱和条件下，取桩周黄土沉降与桩身沉降相等的深度；

**3)** 取自重湿陷性黄土层底面深度；

**4)** 根据建筑使用年限内场地水环境变化研究结果结合场地黄土湿陷性条件综合确定；

**5)**  有经验的地区，可根据当地经验结合场地黄土湿陷性条件综合确定。

**6.3.7** 将负摩阻力引起的下拉荷载计入附加荷载验算桩基沉降时，考虑群桩效应的单桩下拉荷载可按下列公式计算：

 （6.3.7-1）

 （6.3.7-2）

式中：——考虑群桩效应的单桩下拉荷载(kN)；

 *η*n——负摩阻力群桩效应系数，对于单桩基础或按式(6.3.7-2)计算得群桩效应系数*η*n＞1时，取*η*n＝1；

 *u*——桩身周长(m)；

 ——中性点深度以上黄土层平均负摩阻力特征值(kPa)；

 *z*——中性点深度(m)；

 *s*ax、*s*ay——分别为纵、横向桩的中心距(m)；

 *d*——桩身直径(m)；

 *γ*s——中性点深度以上按土层厚度加权的平均饱和重度(kN／m3)。

【条文说明】**6.3.7**  将负摩阻力引起的下拉荷载计入附加荷载验算桩基沉降时，对于单桩基础，桩侧负摩阻力的总和即为下拉荷载；对于桩距较小的群桩，其单桩的负摩阻力因群桩效应而降低，本条考虑群桩效应下拉荷载的算法取自现行国家标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94。

**6.3.8** 单桩水平承载力特征值，宜通过现场水平静载荷浸水试验结果确定。

【条文说明】**6.3.8**  在水平荷载和弯矩作用下，桩身将产生挠曲变形，并挤压桩侧土体，土体则对桩产生水平抗力，其大小和分布与桩的变形以及土质条件、桩的入土深度等因素有关。设在湿陷性黄土层中的桩，在天然含水量条件下，桩侧土对桩往往可以提供较大的水平抗力；一旦浸水桩周土变软，强度显著降低，桩周土体对桩侧的水平抗力就会降低。

**6.3.9** 自重湿陷性黄土场地，桩的纵向钢筋长度应沿桩身通长配置。

【条文说明】**6.3.9**  对于混凝土灌注桩纵向受力钢筋的配置长度，在设计中应有所考虑。对于在非自重湿陷性黄土层中的桩，一经浸水桩周土可能变软或产生一定量的负摩擦力，对桩产生不利影响。因此，建议桩的纵向钢筋除应自桩顶按1／3桩长配置之外，配筋长度尚应超过湿陷性黄土层的厚度；对于在自重湿陷性黄土层中的桩，由于桩侧可能承受较大的负摩擦力，中性点界面处的轴向压力往往大于桩顶，全桩长的轴向压力均较大。因此，建议在湿陷性相对较强的②、③

区自重湿陷性黄土场地，桩身纵向钢筋应通长配置。

**6.3.10** 自重湿陷性黄土场地，可采取减小桩侧负摩阻力的措施提高桩基的竖向承载力。

【条文说明】**6.3.10** 在自重湿陷性黄土层中的桩基，一经浸水桩侧产生负摩阻力，将使桩基竖向承载力不同程度的降低。为了提高桩基的竖向承载力，设在自重湿陷性黄土场地的桩基，可采取减小桩侧负摩阻力的措施，如：

**1** 在自重湿陷性黄土层，桩的负摩阻力试验资料表明，在同一类土中，挤土桩的负摩阻力大于非挤土桩的负摩阻力。因此，应尽量采用非挤土桩(如钻、挖孔灌注桩)，以减小桩侧负摩阻力(挤土桩已完全消除地基土湿陷性的情况除外)。

**2**  对位于中性点以上的桩侧表面进行处理，以减小负摩阻力的产生。

**3** 在桩基施工前，可采用强夯、挤密法等进行地基处理，消除中性点深度以上土层的自重湿陷性。

**4** 采取其他有效而合理的措施。

# 7 地基处理

## 7.1 一般规定

**7.1.1** 甲类建筑地基的湿陷变形和压缩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湿陷性土层或岩层上，或采用桩基础穿透全部湿陷性黄土层。采取地基处理措施时应符合下列规定：

**1** 非自重湿陷性黄土场地，应将基础底面以下附加压力与上覆土的饱和自重压力之和大于湿陷起始压力的所有土层进行处理，或处理至地基压缩层的深度；

**2**  自重湿陷性黄土场地，对一般湿陷性黄土地基，应将基础底面以下湿陷性黄土层全部处理。

**7.1.2** 大厚度湿陷性黄土地基上的甲类建筑，采取地基处理措施时应符合下列规定：

**1**  基础底面以下具自重湿陷性的黄土层应全部处理，且应将附加压力与上覆土饱和自重压力之和大于湿陷起始压力的非自重湿陷性黄土层一并处理；

**2** 地下水位无上升可能，或上升对建筑物不产生有害影响，且按本条第1款规定计算的地基处理厚度大于25m时，处理厚度可适当减小，但不得小于25m，且应在原防水措施基础上提高等级或采取加强措施。

**7.1.3** 乙类、丙类建筑应采取地基处理措施消除地基的部分湿陷量。当基础下湿陷性黄土层厚度较薄，经技术经济比较合理时，也可消除地基的全部湿陷量或将基础设置在非湿陷性土层或岩层上，或采用桩基础穿透全部湿陷性黄土层。

**7.1.4** 乙类建筑采用消除地基部分湿陷量的措施时，应符合下列规定：

**1** 非自重湿陷性黄土场地，处理深度不应小于地基压缩层深度的2/3，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力值不应小于100kPa 。

**2** 自重湿陷性黄土场地，处理深度不应小于基底下湿陷性土层的2/3，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于150mm。

**3** 大厚度湿陷性黄土地基，基础底面以下具自重湿陷性的黄土层应全部处理，且应将附加压力与上覆土饱和自重压力之和大于湿陷起始压力的非自重湿陷性黄土层的2/3一并处理；处理厚度大于20m时，可适当减小，但不得小于20m，并应在原防水措施基础上提高等级或采取加强措施。

**7.1.5** 丙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度应符合表7.1.5的规定。当按剩余湿陷量计算的地基处理厚度较大，采用表7.1.5中的最小处理厚度时，应在原防水措施基础上提高等级或采取加强措施。

表7.1.5 丙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 建筑层数地基湿陷等级 | Ⅰ级 | Ⅱ级 | Ⅲ级 | Ⅳ级 |
| 总高度小于6.0m且长高比小于2.5的单层建筑 | 可不处理地基 | 非自重湿陷性场地：处理厚度≥1.0m | 处理厚度≥2.5m，对地基浸水可能性小的建筑不宜小于2.0m | 处理厚度≥3.5m，对地基浸水可能性小的建筑不宜小于3.0m。 |
| 自重湿陷性场地；处理厚度≥2.0m |
| 其他单层建筑、多层建筑 | 处理厚度≥1.0m，且下部未处理湿陷性黄土的湿陷起始压力不宜小于100kPa | 非自重湿陷性场地：处理厚度≥2.0m，且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力不宜小于100kPa | 处理厚度≥3.0m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于200mm。按剩余湿陷量计算的处理厚度大于7.0m时，处理厚度可适当减小，但不应小于7.0m | 处理厚度≥4.0m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于200mm。按剩余湿陷量计算的处理厚度大于8.0m时，处理厚度可适当减小，但不应小于8.0m |
| 自重湿陷性场地：处理厚度≥2.5m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于200mm。按剩余湿陷量计算的处理厚度大于6.0m时，处理厚度可适当减小，但不应小于6.0m | 大厚度湿陷性黄土地基：处理厚度≥4.0m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于300mm。按剩余湿陷量计算的处理厚度大于10.0m时，处理厚度可适当减小，但不应小于10.0m | 大厚度湿陷性黄土地基：处理厚度≥5.0m，且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于300mm。按剩余湿陷量计算的处理厚度大于12.0m时，处理厚度可适当减小，但不应小于12.0m |

**7.1.6** 采用地基处理措施时，平面处理范围应符合下列规定：

**1** 非自重湿陷性黄土场地可采用整片或局部处理地基，自重湿陷性黄土场地应采用整片处理；

**2**  局部处理时，平面处理范围应大于基础底面，且每边应超出基础底面宽度的1/4，并不应小于0.5m。

**3**  整片处理时，平面处理范围应大于建筑物外墙基础底面。超出建筑物外墙基础外缘的宽度，不宜小于处理土层厚度的1/2，并不应小于2m；强夯法处理时不应小于设计夯实厚度的1/2，且不应小于3.0m。确有困难时，按处理土层厚度的1/2计算外放宽度，非自重湿陷性黄土场地大于4m时，可采用4m；自重湿陷性黄土场地，大于5m时可采用5m，大厚度湿陷性黄土地基大于6m时可采用6m，但应在原防水措施基础上提高等级或采取加强措施。

**7.1.7** 地基压缩层厚度宜按下列方法确定，取其中较大值，且不宜小于5m。

**1** 对条形基础，取其宽度的3倍；对独立基础，取其宽度的2倍；对筏形基础和宽度大于10m的基础取其宽度的（0.8～1.2）倍，基础宽度大者取小值，反之取大值。

**2** 按下式计算：

=p (7.1.7)

式中 ---相应于荷载效应标准组合下，在基础底面下z深度处土的附加压力值（kPa）；

p----在基础底面下z深度处土的自重压力值（kPa）；

-----系数，z深度下无高压缩性土时取0.2，有高压缩性土时取0.1。

**7.1.8**  地基处理后的承载力，应根据静载荷试验结果结合当地经验综合确定。其下卧层顶面的承载力特征值，应满足下式要求：

 （7.1.8）

式中 ---相应于荷载效应标准组合下，下卧层顶面的附加压力值（kPa）；

p----地基处理后，下卧层顶面上覆土的自重压力值（kPa）；

----地基处理后，下卧层顶面经深度修正后的承载力特征值（kPa）。

**7.1.9** 处理土层底面处下卧土层的附加压力，对条形基础和矩形基础，可分别按下列公式计算：

1条形基础

= （7.1.9-1）

2矩形基础

 = （7.1.9-2）

式中 b---条形或矩形基础底面的宽度（m）；

 ---矩形基础底面的长度（m）；

---相应于荷载效应标准组合，基础底面的平均压力值（kPa）；

---基础底面处土的自重压力值（kPa）；

z ---基础底面至处理土层底面的距离（m）；

---处理层地基压力扩散线与垂直线的夹角（°）。灰土、水泥土垫层可取28°～30°；素土垫层当＜0.25时取0°，=0.25时取6°，≥0.50取23°，0.25＜＜0.5时可内插确定。

**7.1.10** 当按处理后的地基承载力确定基础底面积及埋深时，宜对现场原位测试确定的地基承载力特征值进行修正。基础宽度的地基承载力修正系数宜取0，基础埋深的地基承载力修正系数宜取1。

**7.1.11** 地基处理方法应根据建筑类别和场地工程地质条件，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。地基处理方法主要有垫层法、强夯法、挤密法或多种方法组合。

**7.1.12** 处理地基施工前，应通过现场试验确定地基处理方法的适用性和处理效果；当处理地基施工采用振动或挤土方法施工时，应采取措施控制振动和侧向挤压对邻近建(构)筑物及周边环境产生有害影响。

**7.1.13** 垫层法、强夯法地基采用分层施工时，每完成一道工序，应按设计要求进行验收检验，未经检验或检验不合格时，不得进行下一道工序施工。

**7.1.14** 施工应先进行场地平整、施工道路和防排水设施、施工用电设施等施工工作，并应处置场地内影响施工的地上和地下管线及其他障碍物；垫层法、强夯法、挤密法等施工时，应采取防止土料淋湿或冻结的措施；地基施工和使用过程中，应采取防止施工用水、场地雨水和邻近管道渗漏水滲入地基的处理措施。

**7.1.15** 采用地基处理的工程应在施工期间及使用期间进行沉降变形监测，直至沉降变形达到稳定为止。

**7.1.16** 处理地基工程施工验收检验，应符合下列规定：

**1** 换填垫层地基应分层进行密实度检验,在施工结束后进行承载力检验。

**2** 强夯地基应进行承载力、密实度及处理深度范围内均匀性检验。

**3** 对散体材料复合地基増强体应进行密实度验；对有粘结强度复合地基增强体应进行强度及身完整性验。

**4**  复合地基承载力的验收检验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。

**5** 挤密、强夯等地基应采用取土室内试验或现场浸水载荷试验等方法，对处理后设计处理深度内地基湿陷性作出评价。当取土室内试验不能判断地基的湿陷性是否消除时，宜通过现场浸水载荷试验判定。

**6** 组合处理的地基应对不同地基处理方法的处理质量、湿陷性消除情况、桩身质量分别检测评价。地基处理消除湿陷性后采用桩基的，应对地基处理质量和桩基分别检测并应作出评价。

**7** 当检验结果或合格率不满足设计或现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202的规定时，宜查明原因，或扩大检测。应根据扩大检测结果和原检测结果对地基进行综合评价。

**7.1.17** 水池类构筑物的地基处理，应采用整片灰土或土垫层。在非自重湿陷性黄土场地，灰土垫层的厚度不宜小于0.30m，土垫层的厚度不应小于0.50m；在自重湿陷性黄土场地，对一般水池，应设1.00～2.50m厚的土（或灰土）垫层，对特别重要的水池，宜消除地基的全部湿陷量；土（或灰土）垫层的压实系数不得小于0.97；基槽侧向宜采用灰土回填，其压实系数不宜小于0.94。

**7.1.18** 轨道交通中的地下工程地基处理可按以下规定执行：

1 地下工程结构基底为非自重湿陷性黄土层，可不进行专门地基处理。根据工程周边环境可在明挖结构基底设置一定厚度的垫层处理，或在暗挖和盾构隧道圆心以下预留注浆孔，必要时对土层进行注浆加固。

2 地下工程结构基底为自重湿陷性黄土层且剩余湿陷量大于轨道交通工程允许变形量时，可通过调整线路埋深及坡度，避让自重湿陷性黄土地层或增大处理厚度；基底自重湿陷性黄土层的厚度小于 2m 时，宜采用管片预留注浆孔，洞内注浆消除地基湿陷性的处理措施；自重湿陷性黄土层厚度大于 5m 时，宜采用地面处理方式，地基处理方法可采用挤密法、搅拌桩或地表旋喷加固等。

**7.1.19** 轨道交通中的湿陷性黄土场地上路基工程处理，按《铁路特殊路基设计规范》TB10035 执行；城市市政道路工程按《公路路基设计规范》JTGD30执行。

## 7.2 垫层法

**7.2.1** 垫层法适用于处理地下水位以上黄土地基，可处理的湿陷性黄土层厚度一般为1～3m。垫层材料可选用土、灰土和水泥土等，不应采用砂石、建筑垃圾、矿渣等透水性强的材料。当仅要求消除基底下1m～3m湿陷性黄土的湿陷量时，可采用土垫层，当同时要求提高垫层的承载力及增强水稳性时，宜采用灰土垫层或水泥土垫层处理。

【条文说明】**7.2.1**  垫层法是一种浅层处理湿陷性黄土地基的传统方法，在湿陷性黄土地区使用较广泛，具有因地制宜、就地取材和施工简便等特点，处理厚度一般为1～3m，通过处理基底下部分湿陷性黄土层，可以减小地基的湿陷量。处理厚度超过3m，挖、填土方量大，施工期长，施工质量不易保证，选用时应通过技术经济比较。

**7.2.2**  灰土垫层中的消石灰与土的体积配合比，宜为2：8或3：7，回填料含水量较大时宜采用较高的消石灰配合比。水泥土垫层中水泥与土的配合比宜通过试验确定，无经验时，水泥掺量可采用土重量的7%~12%。

**7.2.3** 垫层的压实质量，应用压实系数λc控制，并应符合下列规定：

**1** 厚度小于或等于3m的垫层，λc不应小于0.97；

**2** 厚度大于3m的垫层，基底下3m以内λc不应小于0.97，3m以下不应小于0.95。

**3** 压实系数λc应按下式计算：

  （7.2.3）

式中 —压实系数；

 ——垫层的控制（或设计）干密度（g/cm3）；

— 最大干密度（g/cm3）。

【条文说明】**7.2.3** 垫层的施工质量，对其承载力和变形有直接影响。为确保垫层的施工质量，本条规定采用压实系数λc控制。

**7.2.4** 土或灰土、水泥土的最大干密度和最优含水量，应在工程现场拟施工垫层的材料中选取有代表性的土样采用击实试验确定。

【条文说明】**7.2.4**  击实试验分轻型击实和重型击实，采用何种击实试验由设计单位决定。设计无明确要求时，对垫层而言，一般采用轻型击实试验。

**7.2.5** 垫层的承载力特征值，应根据现场原位试验结果确定。当无承载力直接试验结果时，对土垫层其承载力特征值取值不宜超过150kPa；对灰土垫层其承载力特征值取值不宜超过200kPa。

**7.2.6** 施工垫层前，宜先进行试碾压试验，根据初步选定的施工机械确定每层虚铺厚度、碾压遍数等施工参数。

**7.2.7** 施工土、灰土或水泥土垫层前，应先将基底下拟处理的湿陷性黄土挖除，宜利用就地挖出的黄土或其他黏性土作材料，根据所选用的夯实或压实设备及试压确定的施工参数，在最优或接近最优含水量下分层回填、分层夯实或压实至设计标高。

**7.2.8** 土或灰土应过筛，灰土应拌合均匀。土料中不得含有冻土块、建筑垃圾或生活垃圾等。

**7.2.9** 无击实试验资料时，素土的最优含水量可取该场地天然土的塑限含水量为其填料的最优含水量。

**7.2.10** 垫层施工进程中应对压实质量进行施工自检，自检合格后才能进行下一层的施工。施工自检参数宜为压实系数，取样点应在每层表面下的2/3分层厚度处。取样数量及位置应符合下列规定：

**1** 整片垫层，每100m2面积不应少于1处，且每层不应少于3处；

**2**  独立基础下局部处理的垫层，每基础每层不应少于3处；

**3**  条形基础下局部处理的垫层，每10延米每层1处，且每层不应少于3处；

**4**  取样点应均匀随机布置，并应具有良好的代表性。存在压实质量缺陷可能性大的局部区域应单独布点。取样点与垫层边缘距离不宜小于300mm。

**7.2.11** 垫层地基应检验承载力和压实系数等参数，并应符合下列规定：

**1** 承载力检测数量每单体工程不应少于3点，单体垫层面积超过1500m2的，超出部分每500m2增加1点，不足500m2按500m2计；

**2** 压实系数应分层取样检测。检验点数量，对整片垫层，每层每200m2面积内应有一个检验点，且每层不应少于3点；对于宽度小于6m的基槽，每层每30延米不应少于1点，且每层不应少于3点；对局部处理的独立柱基，每柱基每层不应少于1点；

**3**  压实系数检测点位置应在每层表面下2/3厚度处；

**4** 对实际施工的灰土配合比有怀疑时，可检测灰土配合比，根据实际灰土配合比击实试验结果计算压实系数；

**5**  采用标准贯入或动力触探检验时，检验点的间距不宜大于4m。

## 7.3 强 夯 法

**7.3.1** 强夯法适用于处理地下水位以上、含水量10%~22%且平均含水量低于塑限含水量1%~3%的湿陷性黄土地基。当强夯施工产生的振动和噪声对周边环境可能产生有害影响时，应评估采用强夯法的适宜性。

**7.3.2** 强夯法处理湿陷性黄土地基的设计内容包括夯实厚度、强夯能级、处理平面范围及夯点排布、起夯标高、夯击遍数和夯点击数等参数。

**7.3.3** 强夯法处理湿陷性黄土地基施工前，应选择有代表性的地段进行试夯或试验性施工，并应符合下列规定：

**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。同一场地内如土性基本相同，试夯或试验性施工可在一处进行；否则，应在土质差异明显的地段分别进行；

**2** 试夯过程中，应测量每个夯点每夯击1次的下沉量；

**3** 试夯结束后，应从夯击终止时的夯面起至设计处理深度以下1m，每隔0.50m～1.00m取土样进行室内试验，测定土的干密度、压缩系数和湿陷系数等指标，并可进行静载荷试验或其他原位测试；

**4** 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】**7.3.3** **1** 试夯点的数量，应根据建筑场地的复杂程度、土质的均匀性和建筑物的类别等综合因素确定； 进行的试夯区域不得对后续地基处理造成不利影响； 强夯试验面积，不应小于20m×20m；应根据夯击能、地基土含水量等，待强夯结束一至数周后，对试夯场地进行检测；并与夯前测试数据进行对比，检验强夯处理效果。

**2** 试夯检验应根据设计要求提供有效加固深度；强夯后理后地基土的密实度、承载力和变形指标；

**3** 通过试夯确定合适的夯击能、夯点间距、夯击次数、夯击遍数、最后两击夯沉量和间隔时间等设计参数；校核强夯后场地的沉降量或抬升量，为确定起夯面标高提供依据；了解强夯施工振动、侧向挤压等对周边环境和工程的影响，确定与周边工程的安全施工最小距离；

**4** 采用强夯法处理湿陷性黄土地基，消除湿陷性黄土层的有效深度，应根据试夯测试结果确定。在有效深度内，土的湿陷系数δs均应小于0.015。当缺乏试验资料时选择强夯方案处理地基，消除湿陷性黄土层的有效深度，可按表3（说明）中所列的相应单击夯击能进行预估。

表7.3.3 采用强夯法消除湿陷性黄土层的有效深度预估值（m）

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 单击夯击能（kN·m） | 全新世（Q4）黄土、晚更新世（Q3）黄土 | 中更新世（Q）黄土 |
| 1000 | 3.0~4.0 | — |
| 2000 | 4.0~5.0 | — |
| 3000 | 5.0~6.0 | — |
| 4000 | 6.0~7.0 | — |
| 5000 | 7.0~8.0 | 6.0~7.0 |
| 6000 | 8.0~8.5 | 7.0~7.5 |
| 7000 | 8.5~9.0 | 7.5~8.0 |
| 8000 | 9.0~10.0 | 8.0~9.0 |
| 10000 | 9.5~11.0 | 8.5~10.0 |
| 12000 | 10.0~12.0 | 10.0~11.0 |
| 注：消除湿陷性黄土层的有效深度，从起夯面算起。 |

**7.3.4**  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。

**7.3.5** 强夯地基宜在基底下设置灰土垫层。垫层厚度可取300mm~500mm或根据计算确定。

**7.3.6**  夯点排布宜按正三角形网格布置，也可按正方形网格布置。初步设计时夯点中心距可取夯锤直径的1.2倍～2.0倍。夯实厚度小、强夯能级低时夯点中心距取小值；夯实厚度大，强夯能级高时夯点中心距取大值。

**7.3.7**  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，初步设计时可根据当地工程经验结合岩土工程勘察资料确定。

**7.3.8**  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。施工中应有专人监测和记录。

**7.3.9**  拟夯实的土层内，土的天然含水量大于塑限含水量3%以上时，宜采用晾干、换土或其他措施降低含水量。土的天然含水量低于10%时，宜对其增湿至接近最优含水量。

**7.3.10** 强夯地基应检验承载力和夯实土的物理力学指标，并应符合下列要求：

**1** 承载力检测数量每单体工程不得少于3点，单体地基处理面积超过1500m2的，超出部分每500m2增加1点，不足500m2按500m2计；超出10000m2部分每1000m2增加1点，不足1000m2按1000m2计；

**2**  取样检测地基土的物理力学及湿陷性指标，检测点数量不宜小于按本条第1款计算的数量。宜采用探井取样，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，竖向取样间距不应大于1m；

**3** 采用标准贯入或动力触探检验时，每400m2内应有一个检验点，且每单体不应少于3点。

**4**  强夯地基的承载力检测宜在地基强夯结束28d后进行，并应符合本标准附录J的规定。取样检测宜在地基强夯结束14d后进行。

## 7.4 挤密法

**7.4.1** 挤密法根据成孔工艺，可分为挤土成孔挤密法和预钻孔夯扩挤密法。宜选择振动沉管法、锤击沉管法、旋挤沉管法、静压沉管法、冲击夯扩法等挤土成孔挤密法。

**7.4.2**  甲、乙类建筑或缺乏建筑经验的地区，应在工程现场选择有代表性的地段进行试验或试验性施工，取得需要的设计参数后，再进行地基处理设计和施工。试验结果应满足设计要求，并应符合下列规定：

**1**  试验数量不宜少于3组。每组桩数三角形布桩时不应少于7根，矩形布桩时不应少于9根；

**2** 在桩间土开挖探井，分层检测桩体压实系数、桩间土平均挤密系数、相邻桩形心处桩间土湿陷性及常规物理力学指标。取样间距不应大于1m。

**3**  对预钻孔夯扩工艺，应根据试验结果确定施工采用的机械、锤型、锤重、落距、夯击次数和填料量等施工参数，并应分段检测桩径。

**7.4.3** 挤密孔的孔位宜按正三角形布置，孔心距按试验结果确定。初步设计时可依据成孔直径、地基挤密前孔深范围内各土层的平均干密度和桩间土的平均挤密系数等进行计算确定，3个孔之间土的平均挤密系数，不宜小于0.93。

【条文说明】**7.4.3** **1** 孔心距可按下式计算：

 （7.4.3）

式中 s——孔心距（m）；

 D——成孔直径（m）；

 d——预钻孔直径（m），无预钻孔时取0；

 ρdo——地基挤密前孔深范围内各土层的平均干密度（g/㎝3）；

 ρdmax——击实试验确定的桩间土最大干密度（g/㎝3）；

 c——挤密填孔（达到D）后，3个孔之间土的平均挤密系数，不宜小于0.93。

**2 桩间土**的平均挤密系数是指在成孔挤密深度范围内，桩间土的平均干密度与桩间土的最大干密度的比值，平均试样数不应小于6组。平均挤密系数取样位置应分别位于两桩心连线的中点及净间距（桩间距减去桩直径）的1/10处，取二者的平均值；应分层检测桩间土平均挤密系数，竖向取样间距不宜超过1m。

**7.4.4**  挤密填孔后，3个孔之间土的最小挤密系数对于甲类、乙类建筑不宜小于0.88；丙类建筑不宜小于0.84。

【条文说明】7.4.4

挤密填孔后，3个孔之间土的最小挤密系数，可按下式计算：  （ 7.4.5）

式中 —土的最小挤密系数：甲、乙类建筑不宜小于0.88；丙类建筑不宜小于0.84；

 —挤密填孔后，3个孔之间形心点部位土的干密度（g/㎝3）。

**7.4.5** 孔内填料宜用素土、灰土或水泥土，也可采用混凝土或水泥粉煤灰碎石水拌制料等强度高的填料，不应使用粗颗粒填料。当防（隔）水或消除湿陷性预处理时，宜用素土；当提高承载力或减小基础宽度和地基沉降量时，宜用灰土或水泥土等。填料应分层回填夯实，压实系数不宜小于0.97。

**7.4.6** 填料中的土料宜选用粉质粘土，土料中的有机质含量不应超过5%，且不得含有冻土、渣土和垃圾，土粒径不应大于15mm；石灰应选用新鲜消石灰，粒径不应大于5mm。

**7.4.7** 挤密地基宜在基底下设置0.30~0.60m厚的垫层，垫层材料可为灰土、素土及其它与孔填料相适应的材料。垫层施工前，应对挖去松动层的地面进行夯实或压实。

**7.4.8** 挤密地基承载力应通过复合地基竖向抗压载荷试验确定。初步设计时灰土挤密桩复合地基承载力特征值，不宜大于处理前天然地基承载力特征值的2.0倍，且不宜大于200kPa；对土挤密桩复合地基承载力特征值，不宜大于处理前天然地基承载力特征值的1.4倍，且不宜大于150kPa。

**7.4.9** 挤密施工前，宜对处理范围内的地基土含水量进行普查，并应取样进行击实试验。当地基土含水量偏低时，宜提前7d~14d将拟处理范围内的土层增湿至接近最优含水量或塑限。

**7.4.10** 挤密施工应间隔、分批进行，孔成后应及时夯填；局部处理时，应由外向里施工。

**7.4.11** 孔底填料前应夯实。填料时，应分层回填分层夯实，压实系数和夯扩桩径达到设计要求后才能填下一层土料。

**7.4.12** 施工预留松动层的厚度宜为0.60～0.90m，冬期施工可增大预留松动层的厚度。

**7.4.13** 挤密施工过程中应进行施工自检，并应符合下列规定：

**1** 成孔质量检查，包括成孔直径、深度、垂直度、孔底塌落土厚度及缩孔情况等，应及时抽样检查，数量不得少于总孔数的2%，且每台班不应少于1孔。

**2**  孔内填料的夯实质量，应随机及时抽样检查，数量不得少于总孔数的2%，且每台班不应少于1孔。

**3** 对预钻孔夯扩桩，除本条第1款、第2款检查内容外，尚应抽样检查单桩填料量，数量不得少于总孔数的4%，且每台班不应少于3孔。

**7.4.14**  挤密地基应检验承载力、桩身质量及桩间土的物理力学指标，并应符合下列规定：

**1**  承载力检测应采用单桩或多桩复合地基静载荷试验，检测数量不应小于桩数的0.5%，且每单体建筑不应少于3点；桩数大于3000根时，超出3000根部分可取超出桩数的0.4%。对桩距超过3m的挤密地基，采用复合地基静载荷试验确有困难时，也可采用单桩静载荷试验和桩间土平板载荷试验相结合的试验方法；

**2** 桩身质量检测数量不应小于总桩数的0.6%，且每单体工程不少于6根。桩身压实系数应分层检测，取样间距不应超过1m，取样位置应在距孔心2/3桩半径处。采用标准贯入、静力触探、动力触探或其他原位测试方法检测桩身压实质量时，应有同条件土工试验进行对比；

**3**  桩间土检测数量不应小于总桩数的0.2%，且每单体工程不少于3处。应分层检测桩间土平均挤密系数、物理力学指标和湿陷系数，竖向取样间距不宜超过1m。平均挤密系数取样位置应分别位于两桩心连线的中点及净间距（桩间距减去桩直径）的1/10处，取二者的平均值；湿陷系数取样位置应位于相邻3桩（三角形布桩）或4桩（正方形布桩）形心位置。采用标准贯入、静力触探、动力触探或其他原位测试方法检测桩间土挤密效果时，应有同条件土工试验进行对比；

**4** 静载荷试验应在成桩14d后进行；

**5** 对预钻孔夯扩桩，宜检测成桩桩径。

# 8 场平工程

## 8.1 一般规定

**8.1.1** 场平工程治理应坚持保护环境、防止水土流失与确保工程安全的原则，内容包括原场地地基处理、填筑体处理、边坡工程；施工时对场地内的地质灾害应同步治理。

【条文说明】**8.1.1** 场平工程的最终目的是用于工程建设，一方面大厚度填方形成的场地最终必须满足建设工程的稳定性要求，另一方面无序施工的大厚度人工填土地基通常是工程建设中难评价、难处理、难控制和容易导致工程问题产生的复杂地质体，黄土地基（包括原状黄土地基和黄土作为主要填料的地基）通常具有的湿陷性和湿化变形特性，更是对场地的稳定性不利。场平工程应进行系统、标准的测量、勘察、设计、施工、检测和监测工作，减少人工填土性质的不确定性，使在填方体上实施的建设工程在建设时机和质量等方面处于可控状态。

场平工程是一项系统工程，与地质灾害治理同步进行，旨在兼顾地质灾害的治理，消除不稳定因素，可以以增强地基的稳定性，同时达到防止水土流失、保护环境的目的。

本标准中场平工程治理主要针对与岩土工程及地基处理相关的问题提出规定，内容主要包括原场地地基处理、填筑体的处理、边坡工程三个方面。原场地地基处理设计主要针对填方区原场地地基中的湿陷性土、软弱土和松散土，对其进行压密、挤密、固结或换填处理，同时对存在的滑坡、土洞等不良地质体进行处理，消除不良地质体的不利影响，减少工后沉降，提高原场地地基的稳定性。填筑体处理则追求填土压实度与填方区工程建设等待时间的矛盾统一，总体上压实度越大则后续工程建设等待的时间越短，但目前压实度与填方稳定时间的关系还缺乏研究数据，黄土地区主要以黄土作为填料，通常取现有技术手段能达到但又不至于施工难度太大的压实度作为控制指标，以尽可能缩短后续工程建设的等待时间；此外填筑时还需处理好填筑体与原始坡面、相邻施工工作面、挖填交界面等的搭接，以尽力避免这些界面成为渗水通道影响工程稳定性。边坡则需在满足稳定性的前提下，节约工程建设用地和控制工程造价，并实现支护结构、水土保持和景观绿化有机融合，同时支护结构还需满足耐久性要求。

**8.1.2** 场平工程治理填方工作宜一次完成，工程分期或不同功能区分次序建设时，应避免后期的原场地处理、边坡工程及排水工程施工对前期工程的影响；填筑要求应根据地基上建（构）筑物的建造时间、顺序及加荷速率的安排，填筑完成后地基的实测沉降趋势，结合拟建工程的变形控制要求确定，同时应考虑实施的连续性、可行性和整体性。

**8.1.3** 下列场平工程治理应进行专项研究：

**1** 填筑厚度超过100m或者场地水文地质条件极为复杂；

**2** 场地内及其附近存在大型或巨型滑坡；

**3**  采用新技术、新材料、新工艺和新产品；

**4** 施工过程中遇到重大技术和质量问题。

【条文说明】**8.1.3**  本条文所指的“新技术、新材料、新工艺和新产品”是指尚未被标准和有关文件认可的技术、材料、工艺和产品，需要通过专项研究解决在黄土大厚度挖填方工程中的应用方法，保证工程的质量与安全。

**8.1.4** 场平工程治理施工前和各施工阶段均应采取有效的临时排水措施，并应对已完成的阶段工程和节点工程进行保护。临时排水设施应满足地表水、地下水和施工用水等的排放要求，施工期间不得与永久排水措施相联通。

【条文说明】**8.1.4**  本条文强调临时性排水应贯穿整个填方的建设过程。在沟道地基处理及土方填筑施工过程中，降雨会对未完成的工程造成不同程度的损坏；施工期的大气降水形成较大的汇水面，若任其漫流可能对造地面产生冲刷破坏；施工过程中的盲沟如果不进行及时保护，或以临时排水替代，则极易引起周边填土涌入，造成盲沟淤堵。因此对工程施工期应提前计划和安排雨季临时排水措施。

施工过程对水的处理包括：一是要疏排原地表水；二是要疏排大气降水。临时排水应采取一定措施，一是填方临空面施工时，开挖临时排水沟可结合永久排水沟的位置设置；二是每层填筑体表面加固密实，加速排水顺畅，填筑体表面宜采用振动碾压；三是挖填交界处为地下水渗透的高发区，应采取排水措施。弃土区、弃土场周围也需保持排水通畅。

## 8.2 原场地地基处理

**8.2.1** 原场地地基处理应根据场地的地形地貌、地质构造、地层岩性和水文地质条件等结合当地处理经验，采用针对性的措施，包括地表土的清除及湿陷性黄土、软弱土和不良地质体的处理等。

【条文说明】**8.2.1**  原场地地基的地层大致可分为三大类：第一类是梁峁及沟谷斜坡处分布的湿陷性黄土，对湿陷性黄土的处理以消除湿陷性为主要目标；第二类是冲沟底部分布的冲洪积土，该类松散地层的处理以大幅度消除土体压缩性为主要目标；第三类是沟道内人为筑坝促淤造地形成的淤积土，其结构松散、压缩性高，工程性质与淤泥质土近似，对淤积土的处理，前期通过降水、排水方式，降低中、浅层土体的含水率，后期以提高承载力和降低压缩性为主要目标。

地表土的清除厚度应根据现场实际植被情况确定，一般情况可按表8.2.1确定，清表后地基土的有机质含量不应超过5%。

表8.2.1 地表植物土的清除厚度（m）

|  |  |
| --- | --- |
| 现状条件 | 清除厚度 |
| 灌木区、草木区 | 0.20～0.30 |
| 乔木区、灌木区 | 0.20 |

**8.2.2** 原场地地基处理前应进行以下工作：

**1** 对周边环境及水文条件进行充分调查，查明主要障碍物并制定相应措施或保护预案；

**2** 进行试验段施工确定施工工艺参数和填料的各项指标。

【条文说明】**8.2.2**  主要障碍物包括电线杆、坟墓、窑洞、沟渠、废弃房屋等，对具有移植价值的树木应进行移植，对不需要移栽的植被应连同根系挖除并运往指定弃土点存放和处理。当有永久移植地点时，树木移植到永久移植地点；当没有永久移植地点时，移植到临时指定地点。临时移植地点宜设置在挖填方交界处的规划绿化区，大面积土方施工前应在该区域先行准备一块树木移植用地。

**8.2.3**  原场地地基处理可根据工程地质、水文地质条件等采用换填垫层法、强夯法、强夯置换法、挤密法、孔内深层强夯法等方法进行，处理要求应符合现行行业标准《建筑地基处理技术标准》JGJ79等的有关规定。

**8.2.4** 填挖交界面过渡段的原场地地基处理，应按高宽比为1:2开挖成台阶，每步台阶高度宜为0.5m～1.0m；原场地坡比大于1:5 时的原场地地基处理，应沿顺坡方向开挖成台阶，开挖台阶高宽比宜为1:2，台阶宽度不宜小于3.0m。

**8.2.5** 原场地湿陷性黄土地基处理应符合下列要求：

**1** 处理方法可根据湿陷性黄土的分布范围、厚度、湿陷程度和工程要求等综合确定，并应选择代表性区域进行现场试验，为设计提供参数；

**2** 应消除原地基土的全部或部分湿陷性；当湿陷性土层厚度较大难以全部处理时，应根据现场情况进行专项研究后进行，并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。

【条文说明】**8.2.5**  本条强调通过现场试验的方法来确定湿陷性黄土地基的处理方法及施工参数，当缺少现场试验资料和地区经验时，可参考现行《民用机场岩土工程设计标准》MH/T5027中的有关规定，初步设计时可参考表8.2.5。

**表8.2.5 湿陷性黄土地基处理方法**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 处理方法 | 适用范围 | 处理厚度（m） |
| 换填垫层法 | 地下水位以上 | 1~3 |
| 强夯法 | 地下水位以上，饱和度Sr≤60%的湿陷性黄土 | 3~12 |
| 挤密法 | 地下水位以上，饱和度Sr≤65%的湿陷性黄土 | 5~15 |
| 其他方法 | 需试验验证 |

**8.2.6** 冲沟中的松散堆积体可根据土层厚度选择处理方法，并按如下原则进行：

**1**  当冲沟沟底地域开阔且松散堆积层厚度不超过1.4m时，可采用振动碾压或冲击碾压；

**2** 当冲沟沟底地域狭窄或松散堆积层厚度较大时，应采用强夯方法处理，具体设计参数应由试夯试验确定。

【条文说明】**8.2.6**  黄土冲沟中的松散堆积体一般为非饱和土，在强夯作用下，颗粒间发生相对位移，导致土体中的气相被挤出，处理厚度主要与强夯能级有关，当缺乏资料或者初步设计时，强夯能级选择可参考表8.2.6确定。

**表8.2.6 松散堆积体的强夯能级与处理厚度对应关系**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 强夯能级（kN·m） | 3000 | 6000 | 8000 |
| 处理厚度（m） | ≤6 | 6~8 | 8~10 |

**8.2.7** 淤积土的处理，宜通过现场试验确定地基处理方法的适用性和效果，初步设计阶段可按下列要求执行：

1 当厚度小于2m时，宜以周边素土就近进行换填，换填土可采用分层压实法处理；

2 当厚度为2m～6m时，可采用强夯置换法处理，夯坑填料可采用块石、碎石、矿渣、工业废渣、建筑垃圾等透水、坚硬的粗颗粒材料，填料粒径大于300mm的颗粒含量不宜超过全重的30％；

3 当局部厚度超过6m时，宜挖除2m～3m后再采用强夯置换法处理。

【条文说明】**8.2.7**  淤积土属于软弱土，设计时应根据具体工程条件选用适应性好、质量可控性高的方法。大量工程实践表明，换填法、强夯置换法等是处理软弱土地基的有效方法。强夯置换法的影响深度和有效加固深度受土层工程特性和地下水埋深等条件的影响较大，在缺少试验资料或当地经验时，初步设计阶段可参考表7.5.11确定，最终设计参数宜通过现场试夯试验确定。

表8.2.7 淤积土强夯置换能级与处理厚度对应关系

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 强夯能级（kN·m） | 3000 | 6000 | 8000 | 12000 | 15000 | 18000 |
| 处理厚度（m） | 3~4 | 5~6 | 6~7 | 8~9 | 9~10 | 10~11 |

**8.2.8** 工程区内的土洞处理，可根据洞体顶部埋深采用下列处理措施：

**1** 当埋深小于2m时，可挖除塌落的松散土或软土，回填级配良好的填料再采用强夯法处理。

**2** 当埋深为2m～6m时，可钻孔至洞内，灌入砂土、砾石等级配较好的填料后强夯处理；

**3** 当埋深大于6m时，应根据现场实际情况经研究后进行专项设计。

【条文说明】**8.2.8**  土洞的埋深一般比较浅，受水影响较大，顶部的强度较低，发展到一定程度就会塌陷。在实际工程中应该对场区内土洞的位置、大小、形状和水文地质条件等进行综合分析，采取合理的处理措施。

**8.2.9**  对崩塌、滑坡等不良地质体，可根据工程地质测绘与调查结果结合现场具体情况采取针对性的处理措施，并应符合下列要求：

**1** 清表、开挖顺序应遵循自上而下的原则；

**2** 当崩塌体规模较小时，宜采取挖而不运、就地解决，结合土方填筑开挖台阶进行处理；

**3** 当滑坡体规模较小时，宜将其挖除就近碾压处理；当松散体规模较大但在强夯处理深度范围内时，宜采用强夯法处理；挖除后的原场地地基按接坡强夯处理；

**4** 当崩塌、滑坡体规模较大且超过强夯处理深度范围时，应进行专项研究。

【条文说明】**8.2.9** 黄土丘陵沟壑区的工程场地，崩塌滑坡普遍存在且零散分布于黄土陡坎下部、边坡坡脚和冲沟沟谷两侧等部位，由于崩塌体、滑坡体的土体结构松散，对未来的沉降影响较大，故应对此类堆积物进行处理。

## 8.3 填筑体处理

**8.3.1** 填筑体处理应结合地势设计、场地分区、用地功能和场地分区统一考虑，减少二次处理。

【条文说明】**8.3.1** 黄土大厚度填方工程通常就地取材，直接利用场地内挖方区开挖的天然土、石材料作为填方区填料，如何合理、有效、节约地利用好场内填料，同时满足场地分区和后期造地使用功能的设计指标要求，是填筑体处理需要重点解决的问题。

**8.3.2** 正式填筑前，应进行填筑试验，获得下列设计参数：

**1** 确定边坡坡形和坡比；

**2** 分层填筑厚度和松铺系数；

**3** 分层压（夯）实施工方法和施工参数等；

**4**  最大干密度和最优含水量；

**5**  确定质量控制指标与评价标准。

**8.3.3** 填筑地基应分层填筑，同一水平层应采用同一填料，不宜混合填筑。填料的选择应遵循因地制宜的原则，就地、就近取材，并应符合下列规定：

**1**  黄土作为填料时，有机质含量不得大于5%；

**2**  出露基岩开挖的石料作为填料时，粒径大于2mm的粗粒土质量应超过总质量的50%，且不得含有大于100mm粒径的黏土块、耕植土、生活垃圾等；

**3** 黄土和石料不宜在同一水平层混填，如作为土石混合料混填时，粒径大于2mm的粗粒料质量应占总质量的30%～50%，最大粒径不得大于800mm，并小于填筑层厚度的2/3，不得含有大于100mm粒径的黏土块、耕植土和生活垃圾等。

【条文说明】**8.3.3** 黄土大厚度填方地基作为建（构）筑物地基使用，若不满足稳定性要求，进行二次处理难度极大，因此必须有序填筑，保证施工质量。黄土大厚度填方地基总体质量受每一层的填筑质量的影响，土方填筑过程应采用堆填法分层铺填，分层压实或夯实，保证每一层的填筑质量均满足设计要求，未经检验合格，不得进行下道工序施工。此外，为保证填方地基的均匀性，同一水平分层，应采用同一填料。

一般情况下，黄土填料较为充足，但也有局部地区基岩出露土料较少的情况，只有当场区细粒土的料源不足时，才考虑与粗粒土的混合填筑。

**8.3.4** 当黄土填料不足时，填筑材料宜根据填料来源和建设场地分区按下列要求选择：

**1**  建（构）筑物区和边坡区应优先选用巨粒土或粗粒土料，当后续地基基础拟采用桩基时，应避免使用影响后续施工的填料；

**2**  一般性场地平整区宜选用土夹石混合料；

**3**  预留发展区可选用细粒土料或土夹石混合料。

【条文说明】**8.3.4**  场内开挖的土石方材料性质多样时，应充分考虑不同工程场地分区对变形、强度等的不同要求，建（构）筑物区和边坡区应优先采用性质较好的填料，其他填料可填筑于一般场地平整区和规划预留发展区。此时，需要通过对不同场地分区采用相应的填料进行相应的压实来实现对变形、强度和稳定性的控制。例如，在填方边坡稳定影响区，采用石料比土料更有利于边坡稳定，在相同的稳定安全系数下可采用更陡的坡度以节约用地。

**8.3.5** 土石方填筑应均匀、密实，质量标准应根据填料性质和场地用途等综合确定，并应符合现行国家标准《高填方地基技术规程》GB 51254的有关规定，其中密实度指标应符合下列规定：

**1**  当填料为细粒土时，应采用压实度指标，填料的最大干密度和最优含水率宜采用重型击实试验确定；

**2** 当填料为石料和土石混合料时，宜采用固体体积率指标，具体质量标准由试验方法或石料性质确定。

**8.3.6** 填筑体的填料应分层填筑并压（夯）实，挖填过渡区的填料和施工方法应与填方区一致，并应符合下列要求：

**1**  分层填筑应进行有序堆填、摊铺，严禁无序抛填；

**2**  土夹石混合料或细粒土料宜采用冲击压实或振动碾压法处理；

**3**  粗粒料宜选用分层强夯法处理。

【条文说明】**8.3.6** 黄土大厚度填方工程一般采取就地取材采用黄土填料，但考虑到部分区域沟道内基岩出露明显，上覆土层厚度有限，完全采用黄土填筑不能满足工程需求，因此需要采用土夹石混合料或其他细粒土。不同地区、不同填料的压（夯）实性能存在差异，应通过现场试验确定施工方法的适应性。当无试验资料或当地施工经验时，初步设计时的分层压实法的施工参数可参考表8.5.19-1，分层强夯法的施工参数可参考表8.5.19-2。

**表8.3.6-1 分层压实法经验参数**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 分层厚度（m） | 碾压遍数 | 行驶速度（km/h） |
| 冲击碾压 | 振动碾压 | 冲击碾压 | 振动碾压 | 冲击碾压（25kJ~32kJ） | 振动碾压 |
| 0.4～0.6 | 0.3～0.4 | 8～10 | 10～15 | 6～8 | 1.5～2.0 |
| 0.6～0.8 | 0.4～0.6 | 10～15 | 15～20 | 8～12 | 1.5～2.0 |
| 0.8～1.0 |  | 15～20 |  | 12～15 |  |
| 1.0～1.2 |  | 20～25 |  | 12～15 |  |

**表8.3.6-2 分层强夯法经验参数**

|  |  |
| --- | --- |
| 分层厚度（m） | 施工参数 |
| 夯击 | 单击夯击能（kN·m） | 夯点间距（m） | 夯点布置 | 单点夯击数 | 最后两击平均夯沉量（mm） |
| 4.0 | 点夯 | 3000 | 4.0 | 正方形 | 12～14 | ≤50 |
| 满夯 | 1000 | 锤印搭接 | 锤印搭接 | 3～5 |  |
| 5.0 | 点夯 | 4000 | 4.5 | 正方形 | 10～12 | ≤100 |
| 满夯 | 1500 | 锤印搭接 | 锤印搭接 | 3～5 |  |
| 6.0 | 点夯 | 6000 | 5.0 | 正方形 | 10～12 | ≤150 |
| 满夯 | 2000 | 锤印搭接 | 锤印搭接 | 3～5 |  |

振动碾压法是一种振动和碾压同时作用的高效能压实机械，比一般平碾提高功效1～2倍，可节省动力30%，当填料为爆破石渣、碎石类土、杂填土和粉性粘土等非粘性土效果较好。冲击碾压法是由曲线为边而构成的正多边形冲击轮在位能落差与行驶动能相结合下对工作面进行静压、搓揉、冲击，其高振幅、低频率冲击碾压使工作面下深层土石的密实度不断增加，受冲压土体逐渐接近于弹性状态，是土石工程压实技术的新发展。冲击碾压法的碾压宽度不宜小于40m，工作面较窄时应设置转弯车道，最短直线距离不宜小于100m，边角及转弯区域应采用其他措施压实。

**8.3.7** 当填筑体内部设置有土工合成材料时，材料参数、填料选择和压（夯）实工法应符合现行国家标准《土工合成材料应用技术标准》GB/T 50290的有关规定。

## 8.4 边坡

**8.4.1** 黄土地区场平工程中形成的边坡包括挖方边坡和填筑边坡。

**8.4.2**  挖方边坡施工应符合下列规定：

**1** 开挖前做好坡顶临时截、排水设施；

**2** 开挖前应核验边坡位置及开挖轮廓线，开挖过程应检验边坡轮廓、台阶位置、坡度和开挖面标高；

**3**  开挖工序应自上而下、分层、分段依次进行，严禁先挖坡脚及超挖；

**4**  当采用机械开挖坡体时，坡体应预留300mm不开挖，由人工随施工进度开挖予以清除、修坡，严禁在形成较大高差后再进行修坡；

**5** 开挖过程中应充分重视地质条件的变化，存在不良地质构造和事故隐患的部位应及时采取防范措施；

**6**  开挖过程应监控边坡变形与稳定状态，当出现急剧变形、裂缝等异常时，应立即停止开挖，排除安全隐患后方可继续开挖施工。

**8.4.3** 填筑边坡应在充分掌握场地工程地质及水文地质条件、填料来源及其工程性质的基础上，采取措施保证周边环境和建（构）筑物、道路、管道建设对边坡稳定性不产生影响。

**8.4.4**  填筑边坡施工应符合下列规定：

**1** 施工前应核验坡底位置及坡体轮廓线，施工过程中应经常检查边坡轮廓、过渡平台位置、边坡坡度和回填标高；

**2**  施工顺序应自下而上、分层、分段依次进行；

**3**  边坡填筑范围应超出设计边坡回填边线不小于0.5m，采用机械削坡后人工整修，整修时随时检查坡面平整度；

**4**  应与填筑体同步进行，填料的含水率宜控制在最优含水量±2%范围内；

**5**  应严格控制标高及填筑厚度，分层回填、分层压实、分层检测；黄土填筑材料中不得掺有杂填土、膨胀土、盐渍土等；

**6**  施工过程应监控边坡变形与稳定状态，当出现急剧变形、裂缝等异常时，应立即停止施工，排除安全隐患后方可继续施工；

**7**  边坡区底部的碎石垫层、盲沟、透水管等应满足填筑地基疏、排渗水及地下水的要求；

**8**  加筋土边坡施工应符合现行国家标准《土工合成材料应用技术标准》GB50290的有关规定。

**8.4.5** 应在坡顶、坡面、坡脚形成系统排水设施和坡面防护措施，排水设施和坡面防护按现行国家标准《建筑边坡工程技术标准》GB 50330的规定采用。

# 9 地基病害加固和纠倾

## 9.1 一般规定

**9.1.1**黄土地基病害治理分为地基加固和纠倾；地基加固可采用围箍法、旋喷加固法、注浆加固法、坑式静压桩托换法、锚杆静压桩法等；纠倾可采用掏土法、加压法和顶升法等。

【条文说明】：湿陷性黄土场地上建筑物的纠倾方法可分为湿法纠倾和干法纠倾。湿法纠倾主要为浸水法，干法纠倾包括横向或竖向掏土法、加压法和顶升法等。浸水法纠倾，设计施工难度较大，经验不成熟，需要时可执行相关规范。

加固与纠倾工程设计技术方案应按上部结构、基础及地基变形协调的原则进行。加固与纠倾技术方案应通过专家论证。

**9.1.2** 黄土地基病害治理可根据地基病害特点和治理要求，采用单一方法进行治理，也可采用多种治理方法进行综合治理；治理方法确定后，应通过现场试验验证设计参数的合理性和施工可行性，并确定施工工艺流程。

**9.1.3** 湿陷性黄土场地的既有建筑，出现下列情况时宜进行地基加固：

**1** 地基土的承载力或沉降变形不能满足使用要求；

**2**  地基浸水湿陷变形，继续发展可能致基础变形或破坏，需要阻止湿陷继续发展；

**3**  不均匀沉降超过现行国家标准《建筑地基基础设计标准》GB50007规定的允许值。

**9.1.4**  湿陷性黄土场地上的既有建筑，出现下列情况时宜进行纠倾：

1 倾斜已造成建筑物结构性损害或明显影响建筑物或设备的功能；

2 倾斜超过现行国家标准《建筑地基基础设计标准》GB 50007规定的允许值，已影响建筑物的安全和正常使用；

3 倾斜已对人的心理和情绪产生明显影响。

**9.1.5** 既有建筑地基加固或纠倾，应遵循先检测、鉴定，后设计、施工与验收的原则。

**9.1.6** 加固或纠倾设计应符合下列规定:

**1**  应进行地基承载力、地基变形、基础承载力验算;

**2** 当地基变形与地基稳定性相关时，尚应进行地基稳定性验算;

**3**  加固或纠倾设计应明确建筑物的使用和维护要求、加固或纠倾施工及验收检验要求、地基基础工程监测要求；

**4** 加固或纠倾设计方案应根据建筑物及基础特点、地基现状、加固或纠倾方法的适用性、施工引起的附加沉降、周边环境等因素综合确定。施工参数宜通过现场试验验证。

**9.1.7** 治理施工前应根据建筑物特点、施工工艺及周边环境条件制定相应的安全应急预案。

**9.1.8**  加固或纠倾应采用信息法施工。施工过程应进行沉降和变形观测，根据沉降和倾斜观测结果调整施工参数。托换加固、纠倾加固应设置现场监测系统，实时控制纠倾变位结构的变形。

【条文说明】加固或纠倾前应建立建筑物变形和病害监测系统并及时进行监测，掌握建筑物病害变化规律和发展趋势；治理过程中，应同步开展建筑物的变形和病害监测，评估病害状态和发展趋势，并指导治理工程实施，根据监测结果及时调整设计、施工工艺和方法、施工顺序等，减小治理施工对建筑物产生的不利影响。

**9.1.9**  加固或纠倾施工应进行质量控制。工程全部完成后,应进行检验验收并对施工质量和加固效果进行评估。检验验收应符合现行相关规范的规定。

**9.1.11** 加固或纠倾工程竣工后，宜对建筑物继续进行沉降观测至沉降稳定，且时间不宜少于半年。

**9.1.12** 加固与纠倾工程完成后应立即对工作槽坑（孔）作密实回填处理，对施工破损处进行修复。

## 9.2 围箍法

**9.2.1** 沿建筑物基础周边设置灰土挤密桩、夯实水泥土桩、高压旋喷桩、水泥土搅拌桩等围箍体限制湿陷性黄土场地上既有建（构）筑物和设备基础地基土的侧向变形，弱化外来水对黄土地基的浸入。

【条文说明】：围箍法是指沿建筑物基础周边设置具有一定阻水作用的形成连续闭合的围箍桩体，用来限制建筑物基础地基土的侧向变形，弱化外来水对黄土地基的浸入。

**9.2.2** 围箍法宜紧邻基础外侧布桩，且不少于2排；灰土挤密桩、夯实水泥土桩桩径宜为350～450mm，三角形布置，桩孔净距宜为200～300mm；高压旋喷桩、水泥土搅拌桩桩径宜为400～600mm，搭接宽度宜为150～200mm。

**9.2.3** 围箍法桩底深度应根据建筑物地基压缩层结合湿陷性黄土厚度及受水浸泡情况综合确定。

**9.2.4** 围箍法桩顶与建筑物基础或外墙范围应设置灰土垫层，桩顶进入垫层宜为100mm，灰土垫层厚度宜为1000～1500mm，灰土垫层中的消石灰与土的体积配合比，宜为2:8或3:7，回填料含水量较大时宜采用较高的消石灰配合比。

**9.2.5**  灰土挤密桩、夯实水泥土桩宜先施工最外排桩，后由外向内逐排施工，同排桩采用间隔施工方式；高压旋喷桩、水泥土搅拌桩应沿建筑物外墙纵向方向分段施工，待前期已施工的桩身水泥土强度大于地基土强度后再进行后续施工，施工分段长度宜结合建筑物沉降情况和监测情况等综合确定。

**9.2.6**  灰土桩孔内填料消石灰与土的体积配合比，宜为2:8或3:7；夯实水泥土桩孔内填料水泥与土的体积配合比宜为1:5～1:8；水泥土搅拌桩水泥掺量宜为50～60kg/m，且不小于加固天然土质量的12%，水泥浆水灰比宜为0.5～0.6；高压旋喷桩水泥掺量宜为280～320kg/m，水泥浆水灰比宜为0.8～1.0。

**9.2.7** 灰土、水泥土的最大干密度和最优含水量，应在工程现场拟采用的材料中选取有代表性的土样采用击实试验确定。

**9.2.8** 灰土垫层应分层压实，压实系数不小于0.97；灰土挤密桩、夯实水泥土桩填料应分层夯实，压实系数不宜小于0.97；高压旋喷桩、水泥土搅拌桩桩身强度不宜小于1MPa。

**9.2.9** 灰土垫层和灰土挤密桩、夯实水泥土桩填料，土料宜选用粉质粘土，土料中的有机质含量不应超过5%，且不得含有冻土、渣土和垃圾，土粒径不应大于15mm；石灰应选用新鲜消石灰，粒径不应大于5mm；生石灰的氧化钙含量不得小于70%，且最大块径不大于50 mm；夯实水泥土桩桩身填料及高压旋喷桩、搅拌桩宜采用强度等级为42.5级的普通硅酸盐水泥，并根据需要加入适量外加剂和掺和料，外加剂和掺和料的用量，应通过试验确定。

**9.2.10**  灰土挤密桩、夯实水泥土桩，高压旋喷桩、搅拌桩施工应符合现行行业标准《建筑地基处理技术标准》JGJ79的有关规定；检验验收依据现行国家标准《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB50202，由设计单位明确检验项目和检验数量。

## **9**.3 旋喷加固法

**9.3.1**  旋喷加固法宜用于非自重湿陷性黄土场地上的建筑地基基础的加固，在自重湿陷性黄土场地上应用时应通过试验验证其适用性。

**9.3.2**  旋喷加固法设计时，设计参数、初步施工工艺参数、检测及变形监测要求等应根据鉴定结论、勘察成果、结合现场测试、试验性施工的结果确定。改变原基础受力状态或对原基础有损伤时，应对基础进行补强加固设计，并征得结构设计单位同意。

【条文说明】设计时应预估旋喷桩施工过程中浆液和用水对地基可能造成不良影响，对浆液的水灰比提出严格的控制措施，杜绝除浆液以外的施工用水和其他水源向地基土汇集或渗漏。

**9.3.3**  旋喷加固设计应符合下列规定：

**1** 场地为非自重湿陷性黄土场地时，宜按复合地基设计，也可按桩基设计。为自重湿陷性黄土场地时，宜按桩基设计。

**2** 旋喷桩的桩长应根据地层结构确定，桩端持力层宜选择承载力较高的非湿陷性地层，并应进行桩基承受自重湿陷性黄土负摩阻力验算。

**3**  旋喷桩的平面布置应根据既有建筑的结构特点和基础形式确定，宜布置在基础下，确有困难时，可布置在承重墙基础两侧或独立基础周边。纵横墙交接处等应力集中区域应优先布置。

**4** 对于变形敏感，施工过程对沉降影响较大的建筑，可依据现场实际，布设锚杆静压桩并先期施工，减少旋喷加固施工时的沉降量；

5 旋喷桩桩顶与基础的连接设计，应进行受弯、受剪、受冲切等验算，必要时进行抗震验算；连接节点应有效传力；钢构件应采取抗腐蚀措施。基础、地梁或圈梁较弱时，应对其进行加大或加强。

【条文说明】针对的是既有建筑地基还存在湿陷性的情况。当既有建筑地基土具有非自重湿陷性时，在浸水条件下桩间土仍有承载力，可按复合地基设计。当既有建筑地基土具有自重湿陷性时，浸水条件下桩间土即使不产生负摩阻力，其承载力和摩阻力也可忽略不计，宜按桩基础设计；对于变形敏感，施工过程对沉降影响较大的建筑，可依据现场实际，布设锚杆静压桩并先期施工，减少旋喷加固施工时的沉降量。

**9.3.4** 旋喷桩单桩竖向承载力特征值和复合地基承载力特征值应通过现场浸水载荷试验确定；不具备进行现场载荷试验的，设计时应提出相应承载力保证措施。

【条文说明】旋喷桩单桩竖向承载力特征值和复合地基承载力特征值应通过现场浸水载荷试验确定；不具备进行现场载荷试验的应参考临近建筑设计参数，提高设计保守程度，加强后期监测工作，留足进一步采取措施的条件。

**9.3.5** 旋喷桩复合地基承载力特征值初步设计时可按下式估算：

 （9.3.3-1）

 （9.3.3-2）

式中：——复合地基承载力特征值（kPa）；

——单桩承载力发挥系数；

——面积置换率；

——单桩竖向承载力特征值（kN）；

——桩的截面积（）；

——桩间土承载力折减系数，宜按地区经验取值，如无经验时可取0.75~0.95，天然地基湿陷起始压力较大、承载力较高时取大值；

——桩间土承载力特征值（kPa），宜按当地经验取值，如无经验时可取饱和状态下地基承载力特征值；

 ——基础下旋喷桩截面积之和；

——需加固的基础总面积。

【条文说明】加固时桩布置受很多限制，一般沿基础周边布置，桩距不可能完全一致。对部分桩顶位于基础下的桩，如沿条形基础两侧布置的桩，只有部分面积在基础下，计算置换率时可只计算基础下部分桩截面积，也可计算全部桩面积，计算多少应根据桩体强度及基础施加在桩顶的应力水平综合确定。

**9.3.6**  旋喷桩桩单桩竖向承载力特征值，初步设计时，可按下列公式估算，并应取其中较小值：

 （9.3.3-3）

 （9.3.3-4）

式中：——单桩竖向承载力特征值（kPa）；

——桩体试块（边长为150mm立方体）标准养护28d的立方体抗压强度平均值（kPa）；

——桩身强度折减系数，宜按地区经验取值。初步设计时可取0.20~0.25；

——桩身长度范围内的土层层数；

——桩身周长（m）；

——桩长范围内第i层土的厚度（m）；

——桩周第i层土的侧阻力特征值（kPa）；非自重湿陷土层中宜按饱和状态下取值。自重湿陷性黄土层内宜按《湿陷性黄土地区建筑标准》5.7.6条取值。

——桩端端阻力发挥系数；可取0.4~0.6，桩侧土自重湿陷量大时取大值；

——桩端地基土承载力特征值（kPa）。

**9.3.7** 旋喷加固采用的水泥浆液配合比应根据试验确定，宜采用强度等级为42.5级的普通硅酸盐水泥，外加剂和掺合料的用量应通过试验确定。

**9.3.8** 旋喷加固施工应符合下列规定：

**1**  施工前应依据设计要求通过试验性施工确定施工工艺参数、施工批次、施工顺序、间隔时间等。施工顺序确定的桩位在平面上应均匀、对称，不应在一个区域集中施工；施工批次、间隔时间应结合变形监测结果适时调整；

**2** 水泥浆液的水灰比不宜大于1.0。单管旋喷注浆压力宜为20 MPa ~25MPa，提升速度宜为0.1m/min~0.2m/min。施工过程中应观察返浆情况，出现压力骤然上升、下降或冒浆等异常时，应查明原因并及时采取措施；

**3** 单桩施工完成后，根据桩头浆液沉降情况及时回灌比施工浆液强度高一级的浆液，直至浆液不再下沉，用同级的水泥砂浆封孔；

**4**  应严格按照施工参数和材料用量进行施工，并应做好取样和施工记录；

**5** 施工中应按设计要求对建筑物的变形进行监测；

**6**  每完成某一批次的桩体施工，均应结合变形监测结果和施工情况评估加固效果，未满足设计要求时不得进行后续施工。

**9.3.9**  旋喷加固后的质量检验应根据设计要求进行，并应符合下列规定：

**1** 旋喷桩检验宜在成桩28d后进行，可采用开挖检查、载荷试验等方法对承载力、桩身强度、成桩直径和桩长等进行检验；

**2**  检验点应布置在有代表性的桩位或施工中出现异常情况的部位；

**3**  成桩质量检验点的数量不宜少于施工桩数的2％，并不应少于6点； 旋喷桩单桩静载荷试验的抽检数量不宜少于总桩数的1%且不得少于3根。

**9.3.10** 对于受场地条件和加固建筑使用要求限制，9.3.9条难以执行的，由设计单提出符合实际情况的质量检查验收要求，并应采取下列措施；

**1**  桩底持力层选择在不受水位变化影响的可靠的较硬的岩土层，且考虑岩土界面倾斜度对桩端稳定性影响，保守处理；

**2** 设计计算时，桩径取当地同条件下桩径检查实际值的最小值；

**3**  自重湿陷性黄土范围和非自重湿陷性黄土压缩变形范围，桩身侧阻力按负摩阻力计算；

**4** 计算时桩身水泥土强度取现场同条件下水泥土强度试验实际值的最小值；

**5** 加强施工过程管理，专人旁站监理或监督，确保每一施工工序和节点符合设计和相关规范标准要求。施工异常的桩及时与设计人员沟通，协商补强和补桩方案；

9.3.7-9.3.10【条文说明】旋喷加固时实际采用的水灰比要比水泥水化需要的水数量大得多，主要是施工工艺要求。水灰比越大，多余的水分越多，浸入地基土的水量就越大，对地基加固不利。因此在能保证喷出压力等施工参数情况下应尽量选择较低的水灰比。

施工过程中，水泥土凝固过程会产生附加沉降，因此施工顺序尤为重要，不应在一个区域内连续施工，可能造成施工中建筑物局部沉降较大，而应均匀对称施工，并应有足够时间和距离间隔。

受场地条件和加固建筑使用要求限制，旋喷加固后的质量检验往往难以实现，设计时应考虑最不利情况，施工时严格过程管理，加强监测，动态设计信息化施工。可根据需要在旋喷桩中插入钢筋或钢管作为桩身承载力的安全储备。

## **9**.4 注浆加固

**9.4.1** 湿陷性黄土场地既有建筑加固可采用水泥为主剂的注浆加固及水泥、水玻璃混合浆液注浆加固、单液硅化加固或碱液法加固；采用注浆法加固应通过现场试验确定其可行性。

**9.4.2** 渗透系数为0.1～2.0m/d的地下水位以上的湿陷性黄土，可采用无压或压力单液硅化注浆；自重湿陷性黄土场地宜采用无压单液硅化注浆；单液硅化法应采用10%～15%的硅酸钠并掺入2.5%的氯化钠溶液；碱液注浆适用于处理地下水位以上渗透系数为0.1～2.0m/d的地下水位以上的湿陷性黄土地基，对自重湿陷性黄土地基的适用性应通过试验确定。施工条件限制，特殊工程，也可采用高压旋喷注浆工艺进行加固。

**9.4.3** 注浆加固设计、施工、质量检验按现行《建筑地基处理技术规范》JGJ79有关规定执行。

## **9**.5 坑式静压桩托换法

**9.5.1** 坑式静压桩的桩位布置，应符合下列规定：

**1** 纵横墙基础交接处、基础沉降较大处、承重墙基础的中间、独立基础的中心或四角，基础沉降较大处,地基受水浸湿可能性大的承重部位应优先布置；

**2** 宜避开门窗洞口等薄弱部位；

**3**  地梁或圈梁较弱时，应加大或加固地梁或圈梁。

**9.5.2** 坑式静压桩宜采用预制钢筋混凝土方桩或钢管桩。方桩边长宜为150mm～250mm，混凝土强度等级不宜低于C30；钢管桩应经过防腐处理，直径不宜小于Φ159mm，壁厚不得小于8mm。

**9.5.3** 坑式静压桩的桩尖应穿透湿陷性黄土层，并应支承在压缩性低或较低的非湿陷性黄土、砂石层或岩石中，桩尖进入非湿陷性黄土中的深度不宜小于0.50m。终止压桩力应大于或等于2倍的设计承载力特征值。对大厚度湿陷性黄土应通过专门论证。

**9.5.4** 托换时宜在桩顶两侧安放活动牛腿，用托换千斤顶使中间千斤顶压力释放为零，然后撤去中间千斤顶进行托换。

**9.5.5** 坑式静压桩和托换管安放结束后，托换坑应及时回填，并符合下列规定：

**1**  托换坑底面以上至桩顶面0.20m以下，桩的周围可用灰土分层回填夯实，压实系数不宜小于0.97。

**2**  基础底面以下至灰土层顶面，桩及托换管的周围宜用C20混凝土浇筑密实，并应使其与基础连成整体。

**9.5.6** 坑式静压桩的质量检验，应符合下列要求：

**1** 检查压桩施工记录，最终压桩力与压桩深度应符合设计要求。

**2** 桩材试块强度应符合设计要求。现场制桩时，应符合行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94相关规定。

## **9**.6 锚杆静压桩法

**9.6.1** 锚杆静压桩设计,应符合下列规定：

**1** 锚杆静压桩的单桩竖向承载力可通过单桩载荷试验确定;

当无试验资料时,可按地区经验确定,也可按国家现行标准《建筑地基基础设计规范》GB50007和《建筑桩基技术规范》JGJ94有关规定估算。桩端持力层宜选择承载力较高的非湿陷性地层，并应进行桩基承受自重湿陷性黄土负摩阻力验算。

**2**  压桩孔应布置在墙体的内外两侧或柱子四周，纵横墙交接处等应力集中区域应优先布置。设计桩数应由上部结构荷载及单桩竖向承载力计算确定；压桩力不得大于该加固部分的结构自重荷载。压桩孔可预留，或在扩大基础上由人工或机械开凿，预留压桩孔的截面形状，可做成上小下大的截头锥形，压桩孔洞口的底板、板面应设保护附加钢筋，其孔口每边宜大于桩截面边长50mm~100mm。

**3**  当既有建筑基础承载力和刚度不满足压桩要求时,应对基础进行加固补强,或采用新浇筑钢筋混凝土挑梁或抬梁作为压桩承台。

**4**  桩身制作除应满足现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ94的规定外,尚应符合下列规定

1）桩身可采用钢筋混凝土桩、钢管桩、预制管桩、型钢等;

2）桩截面尺寸、桩长及每段桩节长度应按计算和现场实际情况综合确定，钢管桩及型钢应应经过防腐处理并留足腐蚀余量。

3）钢筋混凝土桩的主筋配置应按计算确定,且应满足最小配筋率要求。

4）钢筋宜选用HRB400级以上,桩身混凝土强度等级不应小于C30级;

5）桩身承受拉应力或单桩承载力设计值大于1500kN时宜选用直径不小于400mm的钢管桩;

6）桩节的连接应采用焊接接头，桩节的两端均应设置预埋连接件。

**5** 原基础承台除应满足承载力要求外,尚应符合下列规定:

1）承台周边至边桩的净距不宜小于300mm;

2）承台厚度不宜小于400mm

3）桩顶嵌入承台内长度应为50mm~100mm;当桩承受拉力或有特殊要求时,应在桩顶四角增设锚固筋,锚固筋伸人承台内的锚固长度,应满足钢筋锚固要求;

4）压桩孔内应采用混凝土强度等级为C30或不低于基础强度等级的微膨胀早强混凝土浇筑密实

5）当原基础厚度小于350mm时,压桩孔孔顶应采用2φ16钢筋交叉焊接于锚杆上,并应在浇筑压桩孔混凝土时,在桩孔顶面以上浇筑桩帽,厚度不得小于150mm。

**6**  锚杆应根据压桩力大小通过计算确定。锚杆可采用带螺纹锚杆、端头带镦粗锚杆或带爪肢锚杆,并应符合下列规定:

1）当压桩力小于400kN时,可采用M24锚杆;当压桩力为400kN~500kN时,可采用M27锚杆;

2）锚杆螺栓的锚固深度可采用12倍~15倍螺栓直径,且不应小于300mm,锚杆露出承台顶面长度应满足压桩机具要求,且不应小于120mm；

3）锚杆螺栓在锚杆孔内的胶粘剂可采用植筋胶、环氧砂浆或硫磺胶泥等;

4）锚杆与压桩孔、周围结构及承台边缘的距离不应小于200mm

**7** 设计应结合加固要求，布置监测点，施工中加强监测，动态设计信息化施工。

【条文说明】**：**桩端持力层桩端持力层宜选择承载力较高的非湿陷性地层，并应进行桩基承受自重湿陷性黄土负摩阻力验算，钢管桩及型钢应留足腐蚀余量。主要强调留足安全储备。

强调了桩节连接采用焊接接头。

增加了设计时重视监测工作，贯彻动态设计信息化施工理念。

钢筋混凝土桩宜采用方形，其边长宜为200mm～350mm;钢管桩直径宜为100mm～600mm，壁厚宜为5mm～10mm；预制管桩直径宜为400mm～600mm；壁厚不宜小于10mm;

每段桩节长度,应根据施工净空高度及机具条件确定,每段桩节长度宜为1.0m～3.0m;

当方桩截面边长为200mm时,配筋不宜少于4φ10;当边长为250mm时,配筋不宜少于4φ12;当边长为300mm时,配筋不宜少于4φ14;当边长为350mm时,配筋不宜少于4φ16;

**9.6.2**  锚杆静压桩施工应符合下列规定

**1**  锚杆静压桩施工前,应做好下列准备工作

1）清理压桩孔和锚杆孔施工工作面;

2）制作锚杆螺栓和桩节;

3）开凿压桩孔,孔壁凿毛;将原承台钢筋割断后弯起

待压柱后再焊接；

4）开凿锚杆孔,应确保锚杆孔内清洁干燥后再埋设锚杆,

并以胶粘剂加以封固。

**2**  压桩施工应符合下列规定:

1）压桩架应保持竖直,锚固螺栓的螺母或锚具应均衡紧固,压桩过程中,应随时拧紧松动的螺母;

2）就位的桩节应保持竖直,使千斤顶、桩节及压桩孔轴线重合,不得采用偏心加压;压桩时,应垫钢板或桩垫,套上钢桩帽后再进行压桩。桩位允许偏差应为±20mm,桩节垂直度允许偏差应为桩节长度的±1.0%;钢管桩平整度允许偏差应为±2mm,接桩处的坡口应为45°,焊缝应饱满、无气孔、无杂质,焊缝高度应为h=t+1（mm,t为壁厚）;

3）桩应一次连续压到设计标高。当必须中途停压时,桩端应停留在软弱土层中,且停压的间隔时间不宜超过24h;

4）压柱施工应对称进行,在同一个独立基础上,不应数台压桩机同时加压施工;

5）焊接接桩前,应对准上、下节桩的垂直轴线,且应清除焊面铁锈后,方可进行满焊施工;

6）桩尖应达到设计深度,且压桩力不小于设计单桩承载力1.5倍时的持续时间不少于5min时,可终止压桩;

7）封桩前,应凿毛和刷洗干净桩顶桩侧表面,并涂混凝土界面剂,压桩孔内封桩应采用C30或C35微膨胀混凝土,封桩可采用不施加预应力的方法或施加预应力的方法。

【条文说明】：可根据静力触探资料,预估最大压桩力选择压桩设备。最大压桩力Pp（z）和设计最终压桩力Pp,可分别按式（9.6.3-1）和式（9.6.3-2）计算:

Pp（z）=Ks・Ps（z） （8.6.3-1）

Pp=Kp・Rd  （8.6.3-2）

式中Pp（z）——入土深度为z时的最大压桩力（kN）

Ks——换算系数（m2）,可根据当地经验确定;

Ps（z）s——桩入土深度为x时的最大比贯入阻力（kPa）;

Pp——设计最终压桩力（kN）;

Kp——压桩力系数,可根据当地经验确定,且不宜小于2.0;

Rd——单桩竖向承载力特征值（kN）

**9.6.3**锚杆静压桩质量检验,应符合下列规定

**1**  最终压桩力与桩压入深度,应符合设计要求。

**2**  柱帽梁、交叉钢筋及焊接质量,应符合设计要求。

**3**  桩位允许偏差应为±20mm。

**4**  桩节垂直度允许偏差不应大于桩节长度的1.0%。

**5** 钢管桩平整度允许偏差应为±2mm,接桩处的坡口应为45°接桩处焊缝应饱满、无气孔、无杂质,焊缝高度应为h=t+1（mm,t为壁厚）。

**6** 桩身试块强度和封桩混凝土试块强度,应符合设计要求。

## **9**.7 纠倾法

**9.7.1** 建筑物实施纠倾前应对纠倾的可行性、适宜性进行评价。

**9.7.2** 建筑物纠倾方案应根据建筑物倾斜程度及原因、上部结构及基础类型、整体刚度、荷载特征、土质情况、施工条件和周围环境等因素综合确定, 纠倾方案应安全可靠、经济合理。

**9.7.4** 既有建筑物地基压缩层内土的湿陷性较强、平均含水量小于塑限含水量时，可采用浸水法或横向掏土法进行纠倾，并应符合下列规定：

**1** 纠倾施工前，应在现场进行渗水试验，测定土的渗透速率、渗透半径、渗水量等参数，确定土的渗透系数；

**2** 浸水法的注水孔（槽）至邻近建筑物的距离不宜小于20m；

**3** 根据拟纠倾建筑物的基础类型和地基土湿陷性，预留浸水滞后的预估沉降量。

**9.7.5** 既有建筑物地基压缩层土的平均含水量大于塑限含水量时，可采用竖向掏土法或加压法纠倾。

**9.7.6** 上部结构的自重较小或局部变形较大，且需要使既有建筑物恢复到正常或接近正常使用位置时，宜采用顶升法纠倾。

**9.7.7** 当既有建筑物的倾斜较大，采用一种纠倾方法不易达到设计要求时，可将几种纠倾方法结合使用。

**9.7.8** 符合下列条件之一时，不得采用浸水法纠倾：

**1** 距离拟纠倾建筑物20m内有建筑物或地下构筑物和管道；

**2** 靠近边坡地段；

**3** 靠近滑坡地段。

**9.7.9** 建筑物纠倾前应做好下列准备工作：

**1** 地基需要加固时，应先完成加固再实施纠倾，或与地基加固同时进行；

**2** 被纠倾建筑物整体刚度不足时，应在施工前先行加固；

**3** 进行现场试验性施工，确定施工参数，检验纠倾方案的可行性，并应根据试验结果对方案进行调整与补充。

**9.7.10** 纠倾过程中应控制纠倾速率。根据建筑物的整体刚度和结构构件的强度，宜控制在4mmm/d～10mm/d，纠倾初期可取大值，后期应取小值。对于刚度较好的建筑物可适当提高，对变形敏感的建筑物或重要建筑物，宜小于4mm／d。

**9.7.11** 应评估纠倾后的回倾可能性并预留滞后回倾量，预留滞后回倾量可取建筑物目标纠倾量的1/10～1/12。

**9.7.12** 纠倾全过程中应进行现场监测。并应根据监测结果，及时调整方案、程序及施工进度，并采取相应的安全技术措施。

**9.7.13** 纠倾过程中应做好防护工作，除预定区域外，其他工作区域不得受水浸湿。

# 附录A 黄土工程地质分区图

各区中所包括地区如下：

①区：晋西北区：包括：右玉、河曲、保德偏关、神池、五寨、苛岚、兴县、平鲁西部、岚县西北部。

②区：晋西区：包括：临县、方山、柳林、中阳、永和、隰县、蒲县、大宁、吉县、离石中西部、乡宁中西部。

③区： 晋南区：包括：万荣、临猗、永济市、芮城、平陆南、运城市、夏县、闻喜、绛县中南大部、稷山南小部分。

④区：桑干河、汾河流域区：

④-1亚区，包括：阳高、天镇、新荣、大同、左云、怀仁、广灵、浑源、山阴、应县、朔州、宁武。

④-2亚区，包括：（除1、2、3、④-1、5区以外的其它地区。

⑤区： 晋东南区：包括：和顺、左权、武乡、黎城、沁县、沁源、襄垣、潞城、长治市、屯留、平顺、壶关、长子、长治县、安泽、陵川、高平、沁水、阳城、晋城、泽州。

# 附录B 各类建筑物的举例

|  |  |
| --- | --- |
| 各类建筑 | 举例 |
| 甲 | 高度大于60m的建筑；14层及14层以上的体型复杂的建筑；高度大于50m的简仓；高度大于100m的电视塔；大型展览馆、博物馆；一级火车站主楼；6000人以上的体育馆；标准游泳馆；跨度不小于36m、吊车额定起重量不小于100t的机加工车间；不小于10000t的水压机车间；大型热处理车间；大型电镀车间；大型炼钢车间；大型轧钢压延车间；大型电解车间；大型煤气发生站；大型火力发电站主体结构；大型选矿、选煤车间；煤矿主井多绳提升井塔；大型水厂；大型污水处理厂；大型游泳池；大型漂、染车间；大型屠宰车间；10000t以上的冷库；净化工厂；有剧毒或放射污染的建筑。 |
| 乙 | 高度为24m—60m的建筑；高度为30m—50m的简仓；高度为50m—100m的烟囱；省（市）级影剧院、图书馆、文化馆、展览馆、档案馆；省级会展中心；大型多层商业建筑；民航机场指挥及候机楼；铁路信号、通讯楼、铁路机务洗修库；省级电子信息中心；多层试验楼；跨度等于或大于24m、小于36m和吊车额定起重量等于或大于30t、小于100t的机加工车间；小于10000t的水压机车间；中型轧钢车间；中型选矿车间；小型火力发电厂主体建筑；中型水厂；中型污水处理厂；中型漂、染车间；大中型浴室；中型屠宰车间；特高压输电铁塔。 |
| 丙 | 7层及7层以下的多层建筑；高度不超过30m的简仓；高度不超过50m的烟囱；浸水可能性小的风电机组基础；跨度小于24m、吊车额定起重量小于30t的机加工车间；单台小于10t的锅炉房；一般浴室、食堂、县（区）影剧院、理化试验室；一般的工具、机修、木工车间、成品库；浸水可能性小的超高压、高压输电杆塔。 |
| 丁 | 1层~2层的简易房屋、小型车间、小型库房；无给水排水设施的单层且长高比小于5m的门房；浸水可能性小的光伏电站光伏阵列区。 |

# 附录C 黄土地层的划分

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 时 代 | 地层的划分 | 说明 |
| 全新世（Q4）黄土 | 晚期（Q42） | 新黄土 | 新近堆积黄土 | 一般具湿陷性 |
| 早期（Q41） | 黄土状土 |
| 晚更新世（Q3）黄土 | 马兰黄土 |
| 中更新世（Q2）黄土 | 老黄土 | 离石黄土 | 上部土层具湿陷性，部分土层高压力下具有湿陷性 |
| 早更新世（Q1）黄土 | 午城黄土 | 不具湿陷性 |

# 附录D 判别新近堆积黄土的规定

**D.O.1** 在现场鉴定新近堆积黄土，应符合下列要求：

**1** 堆积环境：

a黄土地貌：黄土塬、梁、峁的坡脚和斜坡后缘，一般为水的搬运作用或自然重力作用下的滑塌堆积；黄土冲沟及沟口处的洪积扇和山前坡积地带表层，一般为水的搬运作用，山间或黄土梁、峁之间凹地的表部。

b冲积平原：被掩埋的沼泽洼地。

c河流阶地：河道拐弯处的内侧，河漫滩及低阶地，一般为水的搬运作用。

**2** 颜色：灰黄、黄褐、棕褐，常相杂或相间。

**3** 结构：土质不均、松散、大孔排列杂乱，一般具水平层理。常混有岩性不一的土块，多虫孔和植物根孔。铣挖容易。

**4** 包含物：常含有机质，斑状或条状氧化铁；有的混砂、砾或岩石碎屑；有的混有砖瓦陶瓷碎片或朽木片等人类活动的遗物，在大孔壁上常有白色钙质粉末。在深色土中，白色物呈现菌丝状或条纹状分布；在浅色土中，白色物呈星点状分布，有时混钙质结核，呈零星分布。

**D.0.1** 新近堆积黄土的鉴别方法，可分为现场鉴别和按室内试验的指标鉴别。现场鉴别是根据场地所处地貌部位、土的外观特征进行。通过现场鉴别可以知道哪些地段和地层，有可能属于新近堆积黄土，在现场鉴别把握性不大时，可以根据土的物理力学性质指标作出判别分析，也可按两者综合分析判定。

新近堆积黄土的主要特点是，土的固结成岩作用差，在小压力下变形较大，其所反映的压缩曲线与晚更新世（*Q*3）黄土有明显差别。新近堆积黄土是在小压力下（0～100kPa或50～150kPa）呈现高压缩性，而晚更新世（*Q*3）黄土是在100～200kPa压力段压缩性的变化增大，在小压力下变形不大。

**D.O.2** 在现场鉴定新近堆积黄土，应符合下列要求：

**1** 堆积环境：

a黄土地貌：黄土塬、梁、峁的坡脚和斜坡后缘，一般为水的搬运作用或自然重力作用下的滑塌堆积；黄土冲沟及沟口处的洪积扇和山前坡积地带表层，一般为水的搬运作用，山间或黄土梁、峁之间凹地的表部。

b冲积平原：被掩埋的沼泽洼地。

c河流阶地：河道拐弯处的内侧，河漫滩及低阶地，一般为水的搬运作用。

**2** 颜色：灰黄、黄褐、棕褐，常相杂或相间。

**3** 结构：土质不均、松散、大孔排列杂乱，一般具水平层理。常混有岩性不一的土块，多虫孔和植物根孔。铣挖容易。

**4** 包含物：常含有机质，斑状或条状氧化铁；有的混砂、砾或岩石碎屑；有的混有砖瓦陶瓷碎片或朽木片等人类活动的遗物，在大孔壁上常有白色钙质粉末。在深色土中，白色物呈现菌丝状或条纹状分布；在浅色土中，白色物呈星点状分布，有时混钙质结核，呈零星分布。

**D.O.3** 当现场鉴别不明确时，可按下列试验指标判定：

**1** 在50～150kPa压力段变形较大，小压力下具高压缩性。

**2** 利用判别式判定

R=-68.45e+10.98a-7.16γ+1.18w

R0=-154.80

当R＞R0时，可将改土判为新近堆积黄土。

式中： e——土的孔隙比

a——压缩系数（MPa-1），宜取50～150kPa或0～100kPa压力下的大值

w——土的天然含水量（%）

γ——土的重度（kN/m3）

# 附录E 黄土的承载力

**E.0.1** 黄土的承载力特征值fak，可根据土的物理、力学指标的平均值或建议值，按附表E.0.1-1～E.0.1-3确定。

附表E.0.1-1 湿陷性黄土承载力特征值*f*ak（kPa）

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| w(％)*f*akwL/e | ＜13 | 16 | 19 | 22 | 25 |
| 22 | 170 | 160 | 140 | 120 | 100 |
| 25 | 180 | 170 | 150 | 130 | 110 |
| 28 | 200 | 180 | 160 | 140 | 120 |
| 31 | 220 | 200 | 180 | 160 | 140 |
| 34 | 240 | 220 | 200 | 180 | 160 |
| 37 |  | 240 | 220 | 200 | 180 |

注：本表适用于晚更新世（Q3）、全新世（Q41）黄土，对天然含水量小于塑限含水量的土，宜按塑限含水量确定土的承载力特征值。

附表E.0.1-2 饱和黄土承载力特征值*f*ak（kPa）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| w/wL*f*aka1-2(MPa-1) | 0.8 | 1.0 | 1.2 |
| 0.1 | 180 | - | - |
| 0.2 | 170 | 160 | - |
| 0.3 | 160 | 150 | - |
| 0.4 | 140 | 130 | 120 |
| 0.5 | 130 | 120 | 110 |
| 0.6 | 120 | 110 | 100 |
| 0.7 | 100 | 90 | 80 |
| 0.8 | - | 80 | 70 |
| 0.9 | - | 70 | 60 |
| 1.0 | - | - | 50 |

注：当土的饱和度*Sr*=70％～80％时，亦可按此表查取承载力特征值。

**附表E.0.1-3 新近堆积黄土（Q42）承载力特征值*f*ak（kPa）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| *w*/*w*l*f*aka(MPa-1) | 0.5 | 0.7 | 0.9 |
| 0.2 | 140 | 130 | 120 |
| 0.4 | 130 | 120 | 110 |
| 0.6 | 120 | 110 | 100 |
| 0.8 | 110 | 100 | 90 |
| 1.0 | 100 | 90 | 80 |
| 1.2 |  | 80 | 70 |
| 1.4 |  | 70 | 60 |

注：压缩系数a值，可取50kPa～150kPa或100kPa～200kPa压力下的大值。

**E.0.2** 利用静力触探比贯入阻力*P*s，确定河谷低阶地的新近堆积黄土（Q42）的承载力特征值，可按附表E.0.2查得。

附表E.0.2 新近堆积黄土（Q42）的承载力特征值*f*ak（kPa）

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| *P*s（MPa） | 0.3 | 0.7 | 1.1 | 1.5 | 1.9 | 2.3 | 2.8 | 3.3 |
| *f*ak | 50 | 70 | 90 | 100 | 120 | 140 | 160 | 180 |

**E.0.3** 根据轻便触探锤击数确定新近堆积黄土（Q42）承载力特征值时，可按附表E.0.3查得。

附表E.0.3 新近堆积黄土（Q42）的承载力特征值*f*ak（kPa）

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| N10（锤击数） | 7 | 11 | 15 | 19 | 23 | 27 |
| *f*ak | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 |

# 附录F 不同崩塌类型的崩塌稳定性计算方法

**F.0.1** 倾倒式崩塌

倾倒式崩塌的不稳定土体上下各部分和稳定岩土体之间均有裂隙分开，一旦发生倾倒，将以A点为转点发生转动。检算时应考虑各种附加力的最不利组合。在雨季张开的裂隙可能为暴雨充满，应考虑静水压力；VII度以上地震区，应考虑水平地震力作用。如不考虑其他力，则崩塌体的抗倾覆稳定性系数 K 可按下式计算。



图F.0.1 倾倒式崩塌

(F.0.1)

式中*f*——静水压力（kN）；

*h*0——水位高，暴雨时等于岩体高（m）；

*h*——岩体高（m）；

γw——水的重度：10（kN/m）；

W——崩塌体重力（kN）；

*F*——水平地震力（kN）；

*a*——转点A 至重力延长线的垂直距离，这里为崩塌体宽的1/2（m）。

**F.0.2** 滑移式崩塌

黄土滑移式崩塌有平面、弧形面、楔形双滑面滑动三种。这类崩塌的关键在于起始的滑移是否形成。因此，可按抗滑稳定性验算。

**F.0.3** 鼓胀式崩塌

这类崩塌体下有较厚的软弱岩土层，常为断层破碎带、风化破碎岩体及黄土等。在水的作用下，这些软弱岩土层先行软化。当上部土体传来的压应力大于软弱岩土层的无侧限抗压强度时，则软弱岩土层被挤出，即发生鼓胀。上部土体可能产生下沉、滑移或倾倒，直至发生突然崩塌。因此，鼓胀是这类崩塌的关键。所以稳定系数可以用下部软弱岩土层的无侧限抗压强度（雨季用饱水抗压强度）与上部土体在软岩土顶面产生的压应力的比值来计算：

 (F.0.3)

式中*W*——上部土体质量；

*A*——上部土体的底面积；

*R*无——下部软岩土在天然状态下的（雨季为饱水的）无侧限抗压强度。

**F.0.4** 错断式崩塌

取可能崩塌的黄土*AB-CD*来分析。如不考虑水压力、地震力等附加力，在土体自重W作用下，与铅直方向成45°角的EC方向上将产生最大剪应力。如*CD*高为*h*，*AD*宽为*a*，岩体重度为γ，则岩体*AECD*质量W=*a*，在岩体横截面*FOG* 上的法向应力为，所以，在*EC*面上的最大剪应力为。故土体的稳定系数 K 值可用土体的允许抗剪强度与的比值来计算：



图F.0.4 错断式崩塌

 (F.0.4)

# 附录G 不同滑面形态的边坡稳定性计算方法

**G.0.1** 对圆弧形滑面可采用简化毕肖普法，边坡稳定性系数可按式

（G.0.1-1）计算：



图G.0.1 圆弧形滑面边坡计算示意

 （G.0.1-1）

 （G.0.1-2）

（G.0.1-3）

式中：*Fs*——边坡稳定性系数；

*ci*——第*i*计算条块滑面黏聚力（kPa）；

*φi*——第*i*计算条块滑面内摩擦角 （°）；

*li* ——第*i*计算条块滑面长度（m）；

*θi*——第*i*计算条块滑面倾角（°），滑面倾向与滑动方向相同时取正值，滑面倾向与滑动方向相反时取负值；

*Ui*——第*i*计算条块滑面单位宽度总水压力（kN/m）；

*Gi*——第*i*计算条块单位宽度自重（kN/m）；

*Gbi*——第*i*计算条块单位宽度竖向附加荷载（kN/m）；方向指向下方时取正值，指向上方时取负值；

*Qi*——第*i*计算条块单位宽度水平荷载（kN/m）；方向指向坡外时取正值，指向坡内时取负值；

*hwi，hw.i-1*——第*i*及第*i-*1计算条块滑面前端水头高度（m）；

*γ*w——水重度，取 10kN/m3；

*i*——计算条块号，从后方起编；

*n*——条块数量。

**G.0.2** 对平面滑动面，边坡稳定性系数可按式（G.0.2-1）计算：



图G.0.2 平面滑面边坡计算简图

 （G.0.2-1）

（G.0.2-2）

（G.0.2-3）

 （G.0.2-4）

 （G.0.2-5）

式中：*T*——滑体单位宽度重力及其他外力引起的下滑力（kN/m）；

*R*——滑体单位宽度重力及其他外力引起的抗滑力（kN/m）；

*c*——滑面的粘聚力（kPa）；

*φ*——滑面的内摩擦角（°）；

*L*——滑面长度（m）；

*G*——滑体单位宽度自重（kN/m）；

*G*b——滑体单位宽度竖向附加荷载（kN/m）；方向指向下方时取正值，指向上方时取负值；

*θ*——滑面倾角（°）；

*U*——滑面单位宽度总水压力（kN/m）；

*V*——后缘陡倾裂隙面上的单位宽度总水压力（kN/m）；

*Q*——滑体单位宽度水平荷载（kN/m）；方向指向坡外时取正值，指向坡内时取负值；

*h*w ——后缘陡倾裂隙充水高度（m），根据裂隙情况及汇水条件确定。

**G.0.3** 对折线形滑动面可采用传递系数法隐式解，边坡稳定性系数

可按下式计算（图G.0.3）

 （G.0.3-1）

 （G.0.3-2）

 （G.0.3-3）

（G.0.3-4）

（G.0.3-5）



图G.0.3 折线形滑面边坡传递系数法计算简图

式中：*Pn*——第*n*条块单位宽度剩余下滑力（kN/m）；

*Pi*——第*i*计算条块与第*i+1*计算条块单位宽度剩余下滑力（kN/m）；当*Pi*<0（*i*<n）时取*Pi*=0；

*Ti*——第*i*计算条块单位宽度重力及其他外力引起的下滑力（kN/m）；

*Ri*——第*i*计算条块单位宽度重力及其他外力引起的抗

滑力（kN/m）。

ψ*i-*1——第*i-*1计算条块对第*i*计算条块的传递系数；其它符号同前。

# 附录H 单桩竖向承载力静载荷浸水试验要点

**H.0.1** 本试验要点适用于测试浸水条件下桩侧负摩阻力、中性点深度及桩周土饱和状态下单桩承载力。

**H.0.2** 试验浸水坑应符合下列规定：

**1** 浸水坑的平面尺寸（边长或直径）：如只测定桩周土饱和状态下的单桩竖向承载力，不宜小于5m；如需要测定桩侧负摩阻力和中性点深度，不宜小于自重湿陷性黄土层的深度，并不应小于10m。

**2** 试坑深度不宜小于500mm，坑底面应铺100～150mm厚度的砂、石，在浸水期间，坑内水头高度不宜小于300mm。

**3** 可在试坑底面布置一定数量及深度的渗水孔，孔内应填满砂砾。

【条文说明】**H.0.2**  单桩竖向承载力静载荷浸水试验包括两种：一种仅测定桩周土饱和状态下的单桩竖向极限承载力；另一种除测定桩周土饱和状态下的单桩竖向极限承载力外，还可通过桩身内力测试测定桩侧负摩阻力和中性点深度。前者相对简单，可在工程中广泛实施，不要求桩周土发挥或完全发挥自重湿陷量，因此试坑面积可相对小些；后者测试的内容较为全面，要求浸水条件下自重湿陷量充分发挥才能测得相对准确的桩侧负摩阻力和中性点深度，依据现场试坑浸水试验经验，试坑平面尺寸需大于自重湿陷性黄土层厚度且大于10m才能使得自重湿陷量充分发挥。

**H.0.3** 单桩竖向承载力静载荷浸水试验方法，可分为先湿法和后湿法。

**H.0.4** 采用先湿法进行单桩竖向承载力静载荷浸水试验，应符合下列规定：

**1** 加载前向试坑内浸水，连续浸水时间不宜少于10d。过程中应记录桩顶附加沉降量，记录间隔不宜大于1h；

**2** 桩周湿陷性黄土层达到饱和（饱和度不小于85%），且桩顶附加沉降量稳定后，在继续浸水条件下对桩顶分级加载至极限荷载或设计荷载的2倍。

**H.0.5** 采用后湿法进行单桩竖向承载力静载荷浸水试验，应符合下列规定：

**1** 应在试坑浸水前，对桩分级加压至设计荷载；

**2** 在设计荷载下沉降稳定后，维持桩顶荷载不变，向试坑内浸水，连续浸水时间不宜少于10d，过程中应记录桩顶附加沉降量；

**3** 桩周湿陷性黄土层达到饱和（饱和度不小于85%），且桩顶附加沉降量稳定后，在继续浸水条件下对桩顶分级加载至极限荷载或设计荷载的2倍。

【条文说明】**H.0.3～H.0.5** 先湿法和后湿法单桩竖向承载力静载荷浸水试验均可测定桩周土饱和条件下的单桩竖向极限承载力，其区别主要在于先浸水还是先加载。浸水过程中，由于桩周土发生自重湿陷或软化，会导致桩身内力重新分布，可能会产生桩顶浸水附加沉降，该部分沉降应记录并表现在试验成果荷载-沉降曲线当中。

**H.0.6** 进行桩侧负摩阻力和中性点深度测试时，应符合下列要求：

**1** 宜在浸水试坑内设置观测自重湿陷的浅标点和深标点，实测自重湿陷下限深度；

**2** 中性点深度附近应埋设有桩身内力测试元件，当中性点深度难以预测时，宜采用线测法进行内力测试；

**3** 先湿法桩顶无荷载或后湿法桩顶维持设计荷载，试坑浸水期间，在桩侧负摩阻力值和中性点深度稳定后应暂时停止注水，继续测试负摩阻力和中性点深度不少于10d，负摩阻力和中性点深度不再增大后，重新注水，继续对桩分级加载；

**4** 取试验过程中下拉荷载最大时对应的负摩阻力值和中性点深度作为实测值。

【条文说明】**H.0.6** 对桩侧负摩阻力和中性点深度测试提出了明确的试验要求，其理由如下：

**1** 已有试验表明，特别对大厚度自重湿陷性黄土和*Q*2自重湿陷性黄土，现场浸水试验得到的自重湿陷土层厚度往往和根据室内试验结果确定的不一致，试验中实测自重湿陷下限深度，有助于验证试验成果可靠性，综合确定桩基设计时的中性点深度，积累相关经验。

**2** 所谓线测法桩身内力测试，是相对于采用传统点式传感器而言，能较为连续的获得桩身轴力的内力测试方法（如滑动测微技术），采用该测试方法有助于较准确确定中性点深度。

**3** 已有试验表明，由于试坑浸水过程中在土体内往往存在有孔隙水压力，土中的有效应力在浸水过程中往往并不最大的，因而桩侧最大负摩阻力以及自重湿陷沉降往往也并不是发生在浸水期末，而是在停水后一定时间。

**4** 单桩竖向承载力静载荷浸水试验中，负摩阻力和中性点都有一个发生发展的过程，一般下拉荷载最大时对应的桩侧负摩阻力和中性点深度均为最大。

**H.0.7** 基准桩或沉降观测基准点应设在浸水影响范围外。试桩和锚桩设置、开始试验时间、试验装置、量测沉降用的仪表，分级加载额定量，加、卸载的沉降观测和单桩竖向承载力的确定等要求，应符合现行国家标准《建筑地基基础设计标准》GB50007的有关规定。桩顶附加沉降量的观测精度应不低于0.10mm。

# 附录J 垫层、强夯和挤密等地基的静载荷试验要点

**J.0.1** 在现场采用静载荷试验检验或测定垫层、强夯和挤密等方法处理的承载力及有关变形参数，应符合下列规定：

**1** 承压板应为刚性，其底面宜为圆形或方形。

**2** 对土（或灰土）垫层和强夯地基，承压板的直径（d）或边长（b），不宜小于1m，当处理土层厚度较大时，宜分层进行试验。

**3** 对土（或灰土）挤密桩复合地基：

1）单桩和桩间土的承压板直径，宜分别为桩孔直径的1倍和1.50倍。

2）单桩复合地基的承压板面积，应为1根土（或灰土）挤密桩承载担的处理地基面积。当桩孔按正三角形布置时，承压板直径（d）应为桩距的1.05倍，当桩孔按正方形布置时，承压板直径应为桩距的1.13倍。

3）多桩复合地基的承压板，宜为方形或矩形，其尺寸应按承压板下的实际桩数确定。

【条文说明】**J.0.1** 荷载的影响深度和荷载的作用面积密切相关。压板的直径越大，影响深度越深。所以本条对垫层地基和强夯地基上的载荷试验压板的最小尺寸作了规定，但当地基处理厚度大或较大时，宜分层进行试验。

对于大桩距的挤密桩复合地基静载荷试验，宜采用单桩或多桩复合地基静载荷试验。如因故不能采用复合地基静载荷试验，且在当地有经验时，也可在桩顶和桩间土上分别进行试验。主要是因为桩距太大要求的承压板直径大，压板刚度难以满足要求，检测过程中承压板刚度不易满足刚性要求，检测结果易失真。

**J.0.2** 开挖试坑和安装载荷试验设备，应符合下列要求：

**1** 试坑底面的直径或边长，不应小于承压板直径或边长的3倍；

**2** 试坑底面标高，宜与拟建的建（构）筑物基底标高相同或接近；

**3** 应注意保持试验土层的天然湿度和原状结构；

**4** 承压板底面下应铺10-20mm厚度的中、粗砂找平；

**5** 基准梁的支点，应设在压板直径或边长的3倍范围以外；

**6** 承压板的形心与荷载作用点重合。

**J.0.3** 加荷等级不宜少于10级，总加载量不宜小于设计荷载值的2倍。

**J.0.4** 每加一级荷载的前、后，应分别测记1次压板的下沉量，以后每0.50h测记1次，当连续2h内，每1h的下沉量小于0.10mm时，认为压板下沉已趋稳定，即可加下一级荷载。且每级荷载的间隔时间不应少于2h。

**J.0.5** 当需要测定处理后的地基土是否消除湿陷性时，应进行浸水荷载试验，浸水前，宜加至1倍设计荷载，下沉稳定后向试坑内昼夜浸水，连续浸水时间不宜少于10d，坑内水头不应小于200mm，附加下沉稳定，试验终止。必要时，宜继续浸水，再加1倍设计荷载后，试验终止。

【条文说明】**J.0.5**  处理后的地基土密实度较高，水不易下渗，可预先在试坑底部打适量的浸水孔，再进行浸水载荷试验。

**J.0.6** 当出现下列情况之一时，可终止加载：

**1** 承压板周围的土，出现明显的侧向挤出；

**2** 沉降s急聚增大，压力-沉降（p-s）曲线出现陡降段；

**3** 在某一级荷载下，24h内沉降速率不能达到稳定标准；

**4**s∕b（s∕d）≥0.06。

当满足前三种情况之一时，其对应的前一级荷载可定为极限荷载。

【条文说明】**J.0.6** 对本条规定的试验终止条件说明如下：

**1** 为地基处理设计（或方案）提供参数，宜加至极限荷载终止；

**2**  为检验处理地基的承载力，宜加至设计荷载值的2倍终止。

**J.0.7** 卸荷可分为3～4级，每卸一级荷载测记回弹量，直至变形稳定。

**J.0.8** 处理后的地基承载力特征值，应根据压力（p）与承压板沉降量（s）的p-s曲线形态确定：

**1** 当p-s曲线上的比例界限明显时，可取比例界限所对应的压力；

**2** 当p-s曲线上的极限荷载小于比例界限的2倍时，可取极限荷载的一半；

**3** 当p-s曲线上的比例界限不明显时，可按压板沉降（s）与压板直径（d）或宽度（b）之比值即相对变形确定：

1）土垫层地基、强夯地基和桩间土，可取s/d或s/b=0.010所对应的压力；

2）灰土垫层地基，可取s/d或s/b=0.006所对应的压力；

3）灰土挤密桩复合地基，可取s/d或s/b=0.006-0.008所对应的压力；

4）土挤密桩复合地基，可取s/d或s/b=0.010所对应的压力。

按相对变形确定上述地基的承载力特征值，不应大于最大加载压力的1/2。

【条文说明】**J.0.8** 本条提供了三种地基承载力特征值的判定方法。大量资料表明，垫层的压力—沉降曲线一般呈直线或平滑的曲线，复合地基载荷试验的压力—沉降曲线大多是一条平滑的曲线，均不易找到明显的拐点。因此承载力按控制相对变形的原则确定较为适宜。本条首次对土（或灰土）垫层及桩、土分别试验的相对变形值作了规定。

# 本规范用词说明

**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：

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** 为“符合…的规定”或“应按……执行”。

# 引用标准名录

《建筑与市政地基基础通用规范》GB55003

《既有建筑地基基础加固技术规范》JGJ123

《岩土工程勘察规范》GB50021-2001

《湿陷性黄土地区建筑标准》GB 50025

《高填方地基技术规范》GB51254

《建筑边坡工程技术规范》GB50330

《滑坡防治设计规范》GB/T 38509

《公路滑坡防治设计规范》JTG/T 3334

《市政工程勘察规范标准》CJJ56-2012

**山西省工程建设地方标准**

**湿陷性黄土场地勘察及地基处理技术标准**

Standard for investigation and ground treatmentin collapsible loess regions

DBJ04/T312-2023

# 条文说明