

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2012年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》（建标〔2012〕5号）的要求，标准编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，修订了本标准。

本标准的主要技术内容是：1. 总则；2. 术语和符号；3. 基本规定；4. 勘察；5. 设计；6. 地基处理；7. 施工；8. 地基及桩基验收检验；9. 既有建筑物地基加固和纠倾；10. 使用与维护。

本标准修订的主要技术内容是：增加了将建筑类别和地貌单元作为确定勘探深度、间距、探井深度和各勘察阶段工作内容时的条件；调整了基底10m以下湿陷系数的试验压力，增加了压力-湿陷系数（ $p-\delta_s$ ）曲线试验要求；调整了湿陷量计算中 β 的取值，增加了浸水概率系数 α ；增加了大厚度湿陷性黄土地基上建筑物的建筑、结构、给水排水与通风设计措施；对各类建筑的地基处理深度作了调整，增加了大厚度湿陷性黄土地基上建筑物地基处理深度及外放的规定；增加了地基及桩基的验收检验规定；对中国湿陷性黄土工程地质分区略图做了修订，对湿陷性黄土的物理力学指标表进行了补充；增加了复合地基浸水载荷试验要点、桩基负摩阻力和中性点测试规定。

本标准中以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

本标准由住房和城乡建设部负责管理和对强制性条文的解释，由陕西省建筑科学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，请寄送陕西省建筑科学研究院

有限公司（地址：陕西省西安市环城西路 272 号，邮政编码：710082）。

本标准主编单位：陕西省建筑科学研究院有限公司
陕西建工第三建设集团有限公司

本标准参编单位：机械工业勘察设计研究院有限公司
西北综合勘察设计研究院
中国建筑西北设计研究院有限公司
甘肃省土木建筑学会
中国电力工程顾问集团西北电力设计院有限公司
山西省勘察设计研究院
甘肃土木工程科学研究院
陕西省建设工程质量安全监督总站
西安建筑科技大学
中国人民解放军陆军勤务学院
北京航空航天大学
兰州大学
西安理工大学土木建筑工程学院
宁夏建筑设计研究院有限公司
陕西省建筑设计研究院有限责任公司
新疆维吾尔自治区建筑设计研究院
甘肃众联建设工程科技有限公司
中冶地集团西北岩土工程有限公司
西安长庆科技工程有限责任公司
青海省建设工程勘察设计咨询中心
中铁西北科学研究院有限公司
甘肃省建筑设计研究院

本标准主要起草人员：朱武卫 罗宇生 王奇维 郑建国
徐张建 郑永强 刘厚健 **汪国烈**
张 炜 韩晓雷 朱沈阳 黄雪峰

滕文川	张豫川	文 君	刘西宝
任会明	戚明军	马安刚	张拥军
谢蕴华	胡再强	姚仰平	丁 冰
李 康	刘存利	严 军	刘以藻
刘小平	毛明强	屈耀辉	李 静
白晓红	曾凡生	高文生	刘明生
沈励操	王长科	董忠级	沈家文
郭汝艳	杨鸿贵	张长城	李存良

本标准主要审查人员：

住房城乡建设部
浏览专用

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	3
3	基本规定	6
4	勘察	9
4.1	一般规定	9
4.2	各勘察阶段工作要求	11
4.3	测定黄土湿陷性的试验	14
4.4	黄土湿陷性评价	19
5	设计	23
5.1	一般规定	23
5.2	场址选择与总平面设计	24
5.3	建筑设计	27
5.4	结构设计	29
5.5	给水排水、供热与通风设计	31
5.6	地基计算	36
5.7	桩基	38
5.8	基坑设计	40
6	地基处理	42
6.1	一般规定	42
6.2	垫层法	47
6.3	强夯法	48
6.4	挤密法	50
6.5	预浸水法	51

6.6	组合处理	52
6.7	黄土高填方地基	53
7	施工	56
7.1	一般规定	56
7.2	地基处理和桩基施工	58
7.3	基坑和基槽施工	62
7.4	上部结构施工	63
7.5	管道和储水构筑物施工	64
8	地基及桩基验收检验	67
8.1	一般规定	67
8.2	地基验收检验	67
8.3	桩基验收检验	70
9	既有建筑物地基加固和纠倾	72
9.1	一般规定	72
9.2	单液硅化法和碱液加固法	73
9.3	旋喷加固法	77
9.4	坑式静压桩托换法	79
9.5	纠倾	80
10	使用与维护	83
10.1	一般规定	83
10.2	维护与检修	83
10.3	沉降观测和地下水位观测	84
附录 A	各类建筑举例	86
附录 B	中国湿陷性黄土工程地质分区	插页
附录 C	黄土地层的划分	87
附录 D	新近堆积黄土的判别	88
附录 E	钻孔内采取不扰动土样的操作要点	89
附录 F	未消除全部湿陷量的地基地下水水位上升时的 设计措施	92
附录 G	单桩竖向静载荷浸水试验要点	93

附录 H 复合地基浸水载荷试验要点	95
附录 J 垫层、强夯和挤密地基载荷试验要点	98
本标准用词说明	101
引用标准名录	102

住房和城乡建设部信息公开
浏览专用

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	3
3	Basic Requirements	6
4	Geotechnical Investigation	9
4.1	General Requirements	9
4.2	Requirements of Various Geotechnical Investigation Stage	11
4.3	The Determination Test of Collapsible Loess	14
4.4	Loess Collapsibility Evaluation	19
5	Design	23
5.1	General Requirements	23
5.2	Site Selection and General Layout Design	24
5.3	Architectural Design	27
5.4	Structured Design	29
5.5	Water Supply and Drainage, Heating and Ventilation design	31
5.6	Foundation Calculation	36
5.7	Pile Foundation	38
5.8	Excavation Design	40
6	Ground Treatment	42
6.1	General Requirements	42
6.2	Replacement Layer of Compacted Fill	47
6.3	Dynamic Compaction	48
6.4	Compacted Column	50

6.5	Prewatering Method	51
6.6	Composite Ground Treatment	52
6.7	Loess High Filling Ground	53
7	Construction	56
7.1	General Requirements	56
7.2	Construction of Ground Treatment and Pile Foundation	58
7.3	Construction of Excavation	62
7.4	Construction of Main Body Structure	63
7.5	Construction of Pipeline and Water Storage Structures	64
8	Acceptance Inspection of Ground and Pile Foundation	67
8.1	General Requirements	67
8.2	Inspection of Ground	67
8.3	Inspection of Pile Foundation	70
9	Improvement of Ground and Foundation and Tilt Rectifying of Existing Buildings	72
9.1	General Requirements	72
9.2	Improvement by Grouting Sodium Silicate or Lye	73
9.3	Jet Grouting Column Reinforcement Method	77
9.4	Pit-jacked Pile for Underpinning	79
9.5	Improvement for Tilt Rectifying	80
10	Application and Maintenance	83
10.1	General Requirements	83
10.2	Maintenance and Overhaul	83
10.3	Observation of Settlement and Groundwater Level	84
Appendix A	Each Class of Architecture Examples	86
Appendix B	Engineering Geology Partition of China Collapsible Loess	foldout
Appendix C	Stratigraphical Division of The Loess	87
Appendix D	The Discrimination of Recently Deposition Collapsible Loess	88

Appendix E	Key Points of Taking Undisturbed Sample at Drill Hole	89
Appendix F	Design Measures of Rising Underground Water Level of Unquenched Whole Collapse Settlement Foundation	92
Appendix G	Key Points of Static Soaking Load Test of Pile Vertical Bearing Capacity	93
Appendix H	Key Points of Composite Foundation Soaking Load Test	95
Appendix J	Key Points of Replacement Layer of compacted fill, Dynamic Compaction and Compacted Column Composite Foundation Load Test	98
	Explanation of Wording in This Standard	101
	List of Quoted Standard	102

1 总 则

1.0.1 为确保湿陷性黄土地区建筑物（包括构筑物）的安全与正常使用，做到技术先进、经济合理、保护环境、节约能源，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于湿陷性黄土地区建筑工程勘察、设计、施工、检验、使用与维护。

1.0.3 在湿陷性黄土地区进行建筑，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，防止地基湿陷对建筑物产生危害。

1.0.4 湿陷性黄土地区的建筑工程的建设与维护，除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

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，土的结构迅速破坏，并产生显著附加下沉的黄土。

2.1.2 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。

2.1.3 自重湿陷性黄土 loess collapsible under overburden pressure

在上覆土的饱和自重压力作用下受水浸湿，产生显著附加下沉的湿陷性黄土。

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

在上覆土的饱和自重压力作用下受水浸湿，不产生显著附加下沉的湿陷性黄土。

2.1.5 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 50kPa~150kPa 压力下变形较大的全新世 (Q_4^2) 黄土。

2.1.6 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作用下，下沉稳定后，受水浸湿产生的附加下沉。

2.1.7 湿陷起始压力 Initial collapse pressure

湿陷性黄土浸水饱和，开始出现湿陷时的压力。

2.1.8 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，浸水饱和和产生的附加下沉。

2.1.9 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作用下，下沉稳定后，浸水饱和和产生的附加下沉。

2.1.10 湿陷量 collapse value

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

2.1.11 湿陷性黄土场地 collapsible loess site

天然地面或挖、填方场地的设计地面以下以湿陷性黄土为主要地层的场地。分为自重湿陷性黄土场地和非自重湿陷性黄土场地。

2.1.12 湿陷性黄土地基 collapsible loess foundation

含有湿陷性黄土的建筑物地基。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。

2.1.13 剩余湿陷量 remnant collapse

拟处理土层底面下未处理湿陷性黄土的湿陷量。

2.1.14 组合处理 combined treatment

对湿陷性黄土地基采用两种或两种以上方法处理，或地基处理和桩基结合使用的综合措施。

2.1.15 防护距离 protection distance

防止建筑物地基受管道、水池等渗漏影响的最小距离。

2.1.16 防护范围 area of protection

建筑物周围防护距离以内的区域。

2.2 符 号

2.2.1 抗力和材料性能

a ——压缩系数；

E_s ——压缩模量；

e ——孔隙比；

f_a ——修正后的地基承载力特征值；
 f_{ak} ——地基承载力特征值；
 I_p ——塑性指数；
 p_{sh} ——湿陷起始压力值；
 q_{pa} ——桩端土的承载力特征值；
 q_{sa} ——桩周土的摩擦力特征值；
 R_a ——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_m ——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 ——地基的压力扩散角；
 δ_s ——湿陷系数；
 δ_{zs} ——自重湿陷系数。

2.2.2 作用和作用效应

p_k ——相对于荷载效应标准组合基础底面的平均压力值；
 p_0 ——基础底面的平均附加压力值；
 S_s ——浸水下沉量；
 Δ_{zs} ——自重湿陷量计算值；
 Δ'_{zs} ——自重湿陷量实测值；
 Δ_s ——湿陷量计算值。

2.2.3 几何参数

A ——基础底面积；
 b ——基础底面的宽度、承压板宽度；
 d ——基础埋置深度、桩身（或桩孔）直径、承压板直径；
 l ——基础底面的长度，桩身长度。

2.2.4 计算系数

α ——浸水机率系数；

β ——考虑基底下地基土的受力状态及地区等因素的修正系数；

β_0 ——因地区土质而异的修正系数；

η_b ——基础宽度的承载力修正系数；

η_d ——基础埋深的承载力修正系数；

ψ_s ——沉降计算经验系数。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

3 基本规定

3.0.1 湿陷性黄土场地上的建筑物分类，应符合下列规定：

1 拟建建筑物应根据重要性、高度、体形、地基受水浸湿可能性大小和对不均匀沉降限制的严格程度等分为四类，并应符合表 3.0.1 的规定。

表 3.0.1 建筑物分类

建筑物类别	划分标准
甲类	高度大于 60m 和 14 层及 14 层以上体形复杂的建筑 高度大于 50m 且地基受水浸湿可能性大或较大的构筑物 高度大于 100m 的高耸结构 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 24m~60m 建筑 高度为 30m~50m，且地基受水浸湿可能性大或较大的构筑物 高度为 50m~100m 的高耸结构 地基受水浸湿可能性较大的重要建筑 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

2 根据基础结构形式、变形刚度、连接方式及重要性等，建筑物各单元可划分为不同类别，也可划分为同一类别。建筑物类别的划分可结合本标准附录 A 确定。

3.0.2 防止或减小建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。设计措施可分为下列三种：

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：在总平面设计、场地排水、地面防水、排水沟、管道敷设、建筑物散水、屋面排水、管道材料和连接等方面采取措施，防止雨水或生产、生活用水的渗漏；
- 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，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，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。

3.0.3 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。

3.0.4 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。

3.0.5 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。建筑物交付使用后，管理单位应按本标准第 10 章的规定进行维护和检修。

3.0.6 湿陷性黄土地区的非湿陷性场地，建筑地基基础设计应按现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的规定执行。

住房城乡建设部信息公开
浏览专用

4 勘 察

4.1 一 般 规 定

4.1.1 湿陷性黄土场地的岩土工程勘察应查明或试验确定下列岩土参数，应对场地、地基作出岩土工程评价，并应对地基处理措施提出建议。

1 建筑类别为甲类、乙类时，场地湿陷性黄土层的厚度、下限深度；

2 自重湿陷系数、湿陷系数及湿陷起始压力随深度的变化；

3 不同湿陷类型场地、不同湿陷等级地基的平面分布。

4.1.2 湿陷性黄土场地的岩土工程勘察，除应符合本标准第4.1.1条及现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB-50021的规定外，尚应符合下列规定：

1 查明工程场地及其周边的地形地貌等工程地质条件；

2 查明地下水及河、沟、湖、库、雨水等地面水的汇聚与排泄；

3 查明黄土地层的时代、成因；

4 查明地基土垂直向和水平向的渗透性；

5 场地存在大面积挖填方时，应查清挖填方的范围、厚度、原始地面高程和初始的地形地貌等，评估挖填方对水环境的影响、湿陷性的变化和形成的边坡及隐形边坡等；

6 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。

4.1.3 中国湿陷性黄土工程地质分区，可按本标准附录 B 划分。

4.1.4 勘察阶段可划分为场址选择或可行性研究、初步勘察、详细勘察三个阶段，并应符合下列规定：

- 1 各阶段的勘察成果应符合各相应设计阶段的要求；
- 2 对场地面积较小、地质条件简单或有建筑经验的地区，可简化勘察阶段，但应符合初步勘察和详细勘察两个阶段的要求；
- 3 对工程地质条件复杂或有特殊要求的建筑物，可进行施工勘察或专门勘察。

4.1.5 勘察工作纲要的编制应按下列条件和要求进行：

- 1 不同的勘察阶段；
- 2 场地及其附近已有的工程地质资料和地区建筑经验；
- 3 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；
- 4 水文地质条件，包括对地下水上升、侧向水侵入和地面水汇聚排泄的评估；
- 5 工程规模，建筑物的类别、特点，设计和施工要求。

4.1.6 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。

4.1.7 工程地质测绘，除应符合现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 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，查明土层滞水、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。

4.1.8 评价湿陷性用的不扰动土样应为 I 级土样，且必须保持其天然的结构、密度和湿度。

4.1.9 不扰动土样的采取应符合下列规定：

1 取土勘探点中，应有足够数量的探井，其数量应为取土勘探点总数的 $1/3 \sim 1/2$ ，并不宜少于 3 个；

2 探井的深度，宜穿透湿陷性黄土层；

3 探井中取样，竖向间距宜为 1m，土样直径不宜小于 120mm；

4 钻孔中取样，应按本标准附录 E 的规定执行。钻孔取样的土工试验数据宜在与探井取样对比分析的基础上使用，土层的密度、湿陷性和力学指标宜以探井取样土工试验为准。

4.1.10 勘探点使用完毕后，应及时用原土分层夯实回填，且密实度不应小于该场地天然黄土的密度。

4.1.11 黄土工程性质评价，宜采用室内土工试验和现场原位试验成果相结合的方法。

4.1.12 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。

4.2 各勘察阶段工作要求

4.2.1 场址选择或可行性研究勘察阶段，应包括下列工作内容：

1 搜集并分析与建设场地相关的工程地质、水文地质资料及地区建筑经验；

2 调查了解拟建场地的地形地貌和黄土层的地质时代、成因、厚度、地下水位以及分布特点；

3 调查影响场地稳定性的不良地质作用和地质环境问题；

4 初步分析黄土湿陷类型、湿陷等级和湿陷下限、评估可能的地基基础类型及优缺点；当已有资料不足时，应开展满足本勘察阶段要求的工程地质测绘、勘探、测试工作；

5 评价场地的稳定性和适宜性，对各拟选场址提出明确比选意见。

4.2.2 初步勘察阶段应包括下列工作内容：

1 初步查明场地地层结构、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；

2 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泄情况，分析地下水与地表自然水体（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；

3 查明场地内不良地质作用的类型、成因、分布范围和危害程度；

4 结合岩土工程条件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方案和地质环境防治做出分析建议，提出岩土设计参数初步取值意见。

4.2.3 初步勘察应符合下列规定：

1 场地工程地质条件复杂时应进行工程地质测绘，其比例尺可采用 1：1000～1：5000；

2 勘探点应沿地貌单元的纵、横剖面线方向或分界线及其垂直线方向布置，且每个地貌单元上均应有勘探点；取样和原位测试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 1/2；

3 勘探点的间距和深度宜分别按表 4.2.3-1、表 4.2.3-2 确定；

表 4.2.3-1 初步勘察勘探点间距 (m)

地貌单元 \ 建筑类别	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。

表 4.2.3-2 初步勘察勘探点深度

勘探点类型 \ 建筑类别	甲类	乙类	丙类	丁类
一般性勘探点 (m)	25~30	20~25	15~20	12~15
控制性勘探点	穿透湿陷性黄土层并 不宜小于 40m	穿透湿陷性黄土层并 不宜小于 30m	穿透自重 湿陷性土层 或不宜小于 25m	穿透自重 湿陷性土层 或不宜小于 20m

注: 表中勘探深度内遇稳定地下水位或非湿陷性坚实地层时, 部分勘探点可终孔。

- 4 每主要土层取不扰动土样进行湿陷性试验不应少于 6 组;
5 当根据地区建筑经验难以确定湿陷类型时, 甲类建筑和乙类中的重要建筑应按本标准第 4.3.7 条的规定进行现场试坑浸水试验。

4.2.4 详细勘察阶段应包括下列工作内容:

1 详细查明各建筑地段的地质结构、场地湿陷类型、地基湿陷等级, 甲类和乙类建筑地段尚应查明湿陷下限;

2 查明各建筑地段土层的物理力学性质指标, 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, 绘制该层的压力-湿陷系数 ($p-\delta_s$) 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;

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

4 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；

5 进一步查明场地内不良地质作用类型、成因、分布范围和危害程度，提出防治措施建议；

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邻近建筑物的影响，并提供相关计算参数；场地条件复杂时，应进行专项研究。

4.2.5 详细勘察应符合下列规定：

- 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 建筑群勘探点间距 (m)

场地类别 \ 建筑类别	建筑类别			
	甲类	乙类	丙类	丁类
简单场地	30~40	40~50	50~80	80~100
中等复杂场地	20~30	30~40	40~50	50~80
复杂场地	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。

4.3 测定黄土湿陷性的试验

I 室内压缩试验

4.3.1 测定黄土湿陷系数 δ_s 、自重湿陷系数 δ_{zs} 、湿陷起始压力

p_{sh} 和绘制压力-湿陷系数 ($p-\delta_s$) 曲线的室内压缩试验应符合下列规定:

- 1 土样的质量等级应为 I 级不扰动土样;
- 2 环刀面积不应小于 5000mm^2 ; 使用前应将环刀洗净风干, 透水石应烘干冷却;
- 3 加荷前, 环刀试样应保持天然湿度;
- 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, 应为下沉量不大于 0.01mm/h 。

4.3.2 测定湿陷系数应符合本标准第 4.3.1 条的规定外, 尚应符合下列规定:

- 1 分级加荷至试样的规定压力, 下沉稳定后, 试样浸水饱和至附加下沉稳定, 试验终止。

- 2 压力在 $(0\sim 200)\text{kPa}$ 范围内, 每级增量宜为 50kPa ; 压力大于 200kPa 时, 每级增量宜为 100kPa 。

- 3 湿陷系数 δ_s 值, 应按下列式计算:

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (4.3.2)$$

式中: h_p ——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);

h'_p ——加压下沉稳定后的试样, 在浸水饱和条件下, 附加下沉稳定后的高度 (mm);

h_0 ——试样的原始高度 (mm)。

- 4 测定湿陷系数 δ_s 的试验压力, 应按土样深度和基底压力确定。土样深度自基础底面算起, 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和自重压力;

- 2) 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，应用其上覆土的饱和自重压力；

- 3) 对压缩性较高的新近堆积黄土，基底下 5m 以内的土层宜用 (100~150) kPa 压力，5m~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。

4.3.3 测定自重湿陷系数除应符合本标准第 4.3.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 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：

$$\rho_s = \rho_d \left(1 + \frac{S_r e}{d_s} \right) \quad (4.3.3-1)$$

式中： ρ_s ——土的饱和密度 (g/cm³)；

ρ_d ——土的干密度 (g/cm³)；

S_r ——土的饱和度，可取 $S_r = 85\%$ ；

e ——土的孔隙比；

d_s ——土粒相对密度 (比重)。

- 3 自重湿陷系数 δ_{zs} 值，可按下式计算：

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (4.3.3-2)$$

式中： h_z ——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 ——加压稳定后的试样，在浸水饱和条件下，附加下沉稳定后的高度 (mm)。

4.3.4 测定压力-湿陷系数 ($p-\delta_s$) 曲线和湿陷起始压力除应符合本标准第 4.3.1 条的规定外，尚应符合下列规定：

- 1 可选用单线法压缩试验或双线法压缩试验；

- 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 压力在(0~150) kPa 范围内，每级增量宜为 25kPa~50kPa，压力大于 150kPa 时，每级增量宜为 50kPa~100kPa；

4 测定压力-湿陷系数($p-\delta_s$) 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，且均应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，调整时应考虑各仪器变形量的差值；
- 2) 应将 2 个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，每级荷载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；相对差值大于 20% 时，应重新试验。

II 现场静载荷试验

4.3.5 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，并应符合下列规定：

1 单线法静载荷试验：应在同一场地相邻地段和相同标高的天然湿度土层上设 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 1 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 1 个应设在浸水饱和的土层上分级加压，加至规定压力，下沉稳定或确认土体已破坏后，试验终止。

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

1 承压板的底面积宜为 0.50m^2 ，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，应保持试验土层的天然湿度和原状结构，压板底面下宜用 $10\text{mm}\sim 15\text{mm}$ 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，按间隔 15min 、 15min 、 15min 、 15min 各测读 1 次下沉量，以后每隔 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 $p-S_s$ 曲线图。

III 现场试坑浸水试验

4.3.7 现场采用试坑浸水试验测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规定：

1 试坑宜挖成圆形或方形，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 。坑底宜铺 100mm 厚的砂砾石。

2 试坑内应对称设置观测自重湿陷的深标点，最大埋设深度应大于室内试验确定的自重湿陷下限深度，各湿陷性黄土层分

界深度位置宜布设有深标点。在试坑底部，由中心向坑边以不少于 3 个方向，均匀设置观测自重湿陷的浅标点。在试坑外沿浅标点方向 10m 或 20m 内设置地面观测标点。观测精度宜为 $\pm 0.5\text{mm}$ 。

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

4 设置观测标点前，可在坑底面打一定数量及深度的渗水孔，孔内应填满砂砾。

5 应在试坑内停止浸水前，测试自重湿陷性土层的饱和度。

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

4.4 黄土湿陷性评价

4.4.1 黄土的湿陷性和湿陷程度，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 δ_s 判定，并应符合下列规定：

1 当 $\delta_s \geq 0.015$ 时，应定为湿陷性黄土；当 $\delta_s < 0.015$ 时，应定为非湿陷性黄土。

2 湿陷性黄土的湿陷程度划分，应符合下列规定：

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

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

3) 当 $\delta_s > 0.070$ 时，湿陷性强烈。

4.4.2 湿陷性黄土场地的湿陷类型，应按自重湿陷量实测值 Δ'_{zs} 或自重湿陷量计算值 Δ_{zs} 判定，并应符合下列规定：

1 自重湿陷量实测值 Δ'_{zs} 或自重湿陷量计算值 Δ_{zs} 小于或等于 70mm 时，应定为非自重湿陷性黄土场地；

2 自重湿陷量实测值 Δ'_{zs} 或自重湿陷量计算值 Δ_{zs} 大于 70mm 时，应定为自重湿陷性黄土场地；

3 按自重湿陷量实测值和自重湿陷量计算值判定出现矛盾

时，应按自重湿陷量实测值判定。

4.4.3 湿陷性黄土地自重湿陷量计算值应按下式计算：

$$\Delta_{zs} = \beta_0 \sum_{i=1}^n \delta_{zsi} h_i \quad (4.4.3)$$

式中： Δ_{zs} ——自重湿陷量计算值（mm）；应自天然地面（挖、填方场地应自设计地面）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 δ_{zs} 值小于0.015的土层不累计；

δ_{zsi} ——第*i*层土的自重湿陷系数；

h_i ——第*i*层土的厚度（mm）；

β_0 ——因地区土质而异的修正系数，缺乏实测资料时，可按表4.4.3取值。

表 4.4.3 因地区土质而异的修正系数

湿陷性黄土工程地质分区	β_0
①区（陇西地区）	1.5
②区（陇东—陕北—晋西地区）	1.2
③区（关中地区）	0.9
其他地区	0.5

4.4.4 湿陷性黄土地基受水浸湿饱和，其湿陷量计算值应按下式计算：

$$\Delta_s = \sum_{i=1}^n \alpha \beta \delta_{si} h_i \quad (4.4.4)$$

式中： Δ_s ——湿陷量计算值（mm）；应自基础底面（基底标高不确定时，自地面下1.5m）算起。在非自重湿陷性黄土地，累计至基底下10m深度止，当地基压缩层深度大于10m时累计至压缩层深度。在自重湿陷性黄土地，累计至非湿陷性黄土层的顶面止，控制性勘探点未穿透湿陷性黄土层时，累计至

控制性勘探点深度止。其中湿陷系数值小于 0.015 的土层不累计。

δ_{si} ——第 i 层土的湿陷系数，按本标准第 4.3 节的规定取值；基础尺寸和基底压力已知时，可采用 $p-\delta_s$ 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 δ_s 值。

h_i ——第 i 层土的厚度 (mm)。

β ——考虑基底下地基土的受力状态及地区等因素的修正系数，缺乏实测资料时，可按表 4.4.4-1 的规定取值。

α ——不同深度地基土浸水机率系数，按地区经验取值。无地区经验时可按表 4.4.4-2 取值。对地下水有可能上升至湿陷性土层内，或侧向浸水影响不可避免的区段，取 $\alpha=1.0$ 。

表 4.4.4-1 修正系数 β

位置及深度		β
基底下 0~5m		1.5
基底下 5m~10m	非自重湿陷性黄土地	1.0
	自重湿陷性黄土地	所在地区的 β 值且不小于 1.0
基底下 10m 以下至非湿陷性黄土层顶面或控制性勘探孔深度	非自重湿陷性黄土地	①区、②区取 1.0，其余地区取工程所在地区的 β 值
	自重湿陷性黄土地	取工程所在地区的 β 值

表 4.4.4-2 浸水机率系数 α

基础底面下深度 z (m)	α
$0 \leq z \leq 10$	1.0
$10 < z \leq 20$	0.9
$20 < z \leq 25$	0.6
$z > 25$	0.5

4.4.5 湿陷性黄土的湿陷起始压力 p_{sh} 值可按下列方法确定：

1 当按现场静载荷试验结果确定时，应在压力与浸水下沉量 ($p-S_s$) 曲线上，取转折点所对应的压力作为湿陷起始压力值。曲线上的转折点不明显时，可取浸水下沉量 (S_s) 与承压板直径 (d) 或宽度 (b) 之比等于 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，宜在 $p-\delta_s$ 曲线上取 $\delta_s=0.015$ 所对应的压力作为湿陷起始压力值。

4.4.6 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 4.4.6 判定。

表 4.4.6 湿陷性黄土地基的湿陷等级

场地湿陷类型 Δ_{zs} (mm)	非自重湿陷性场地		自重湿陷性场地	
	$\Delta_{zs} \leq 70$	$70 < \Delta_{zs} \leq 350$	$\Delta_{zs} > 350$	
$50 < \Delta_s \leq 100$	I (轻微)	I (轻微)	II (中等)	
$100 < \Delta_s \leq 300$		II (中等)		
$300 < \Delta_s \leq 700$	II (中等)	II (中等) 或 III (严重)	III (严重)	
$\Delta_s > 700$	II (中等)	III (严重)	IV (很严重)	

注：对 $70 < \Delta_{zs} \leq 350$ 、 $300 < \Delta_s \leq 700$ 一档的划分，当湿陷量的计算值 $\Delta_s > 600\text{mm}$ 、自重湿陷量的计算值 $\Delta_{zs} > 300\text{mm}$ 时，可判为 III 级，其他情况可判为 II 级。

5 设 计

5.1 一 般 规 定

5.1.1 湿陷性黄土地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 6.1.1 条或第 6.1.2 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 6.1.2 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 6.1.4 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第 6.1.4 条第 3 款规定，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，并宜采用刚度较好的基础形式。

4 湿陷性黄土地基上的丁类建筑，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措施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。

5.1.2 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。

5.1.3 在新近堆积黄土场地上，乙类、丙类建筑的地基处理厚度小于新近堆积黄土层的厚度时，应按本标准第 6.1.8 条的规定验算下卧层的承载力，并按本标准第 5.6.2 条的规定计算地基的压缩变形。

5.1.4 建筑场地内道路、给水排水管线、供热管线等，应根据场地湿陷类型和自重湿陷量大小、与建筑物的距离以及建筑物地基剩余湿陷量等综合确定地基处理措施和防水措施。

5.1.5 建筑物使用期间，当湿陷性黄土场地的地下水位有可能上升至地基压缩层的深度以内时，建筑的设计措施除应符合本章规定外，尚应符合本标准附录 F 的规定。

5.2 场址选择与总平面设计

5.2.1 场址选择应符合下列规定：

1 具有排水畅通或利于组织场地排水的地形条件；

2 避开洪水威胁的地段；

3 避开不良地质环境发育和地下坑穴集中的地段；

4 避开新建水库、人工湖等可能引起地下水位上升的地段；

5 避免将重要建设项目布置在自重湿陷性很严重的黄土场地或厚度大的新近堆积黄土和高压缩性的饱和黄土等地段；

- 6 避开由于建设可能引起工程地质环境恶化的地段。
- 5.2.2 总平面设计应符合下列规定：**
- 1 合理规划场地，做好竖向设计，保证场地、道路和铁路等地表排水畅通；
 - 2 在同一建筑范围内，地基土的压缩性和湿陷性变化不宜过大；
 - 3 主要建筑物宜布置在地基湿陷等级低的地段；
 - 4 在山前斜坡地带，建筑物宜沿等高线布置，填方厚度不宜过大；
 - 5 储水构筑物和有湿润生产工艺的厂房等，宜布置在地下水流向的下游地段或地形较低处；
 - 6 在挖填方厚度较大场区，宜避免在挖填交界处规划布局单体建筑。
- 5.2.3 山前地带的建筑场地，应整平成若干单独的台地，应符合下列规定：**
- 1 台地应稳定；
 - 2 雨水不应沿斜坡无组织排泄；
 - 3 边坡宜做护坡或采取支护措施；
 - 4 用陡槽沿边坡排泄雨水时，应使雨水由边坡底部沿排水沟平缓流动，陡槽的结构应使土在暴雨时不受冲刷。
- 5.2.4 埋地管道、排水沟、雨水明沟和水池等与建筑物之间的防护距离，不宜小于表 5.2.4 的规定。当不能满足要求时，应采取与建筑物类别相应的防水措施。**

表 5.2.4 埋地管道、排水沟、雨水明沟和水池等与建筑物之间的防护距离 (m)

建筑类别	地基湿陷等级			
	I	II	III	IV
甲	—	—	8~9	11~12
乙	5	6~7	8~9	10~12

续表 5.2.4

建筑类别	地基湿陷等级			
	I	II	III	IV
丙	4	5	6~7	8~9
丁	—	5	6	7

- 注：1 陇西地区（①区）和陇东—陕北—晋西地区（⑩区），当湿陷性黄土层的厚度大于12m时，压力管道与各类建筑的防护距离不宜小于湿陷性黄土层的厚度；
- 2 当湿陷性黄土层内有碎石土、砂土夹层时，防护距离宜大于表中数值；
- 3 采用基本防水措施的建筑，防护距离不得小于一般地区的规定。

5.2.5 防护距离的计算，建筑物应自外墙墙皮算起；高耸结构应自基础外缘算起；水池应自池壁边缘（喷水池等应自回水坡边缘）算起；管道和排水沟应自其外壁算起。

5.2.6 各类建筑与新建水渠之间的防护距离，在非自重湿陷性黄土场地不得小于12m，在自重湿陷性黄土场地不得小于湿陷性黄土层厚度的3倍，并不应小于25m。

5.2.7 建筑场地平整后的坡度，在建筑物周围6m内不宜小于2%，当为不透水地面时，可适当减小；建筑物周围6m外不宜小于0.5%。

当采用雨水明沟或路面排水时，其纵向坡度不应小于0.5%。

5.2.8 建筑物周围6m内应平整场地，当为填方时，应分层夯（或压）实，压实系数不得小于0.95；当为挖方时，在自重湿陷性黄土场地，表面夯（或压）实后宜设置150mm~300mm厚的灰土面层，压实系数不得小于0.95。

5.2.9 防护范围内的雨水明沟不应漏水。自重湿陷性黄土场地宜设混凝土雨水明沟，防护范围外的雨水明沟，宜做防水处理，沟底下应设灰土或土垫层。

5.2.10 有下列情况之一时，应采取有组织排除建筑物周边雨水的措施。

1 临近有构筑物（包括露天装置）、露天吊车、堆场或其他露天作业场等；

2 临近有铁路通过；

3 建筑物的平面为E、L、H、L、□等形状构成封闭或半封闭的场地。

5.2.11 山前斜坡上的建筑场地，应根据地形修筑雨水截水沟。

5.2.12 防洪设施的设计重现期宜略高于一般地区。

5.2.13 冲沟发育的山区，宜利用现有排水沟排走山洪，建筑场地位于山洪威胁的地段，应设置排洪沟。排洪沟和冲沟应平缓连接，宜采用较大的坡度，并应减少弯道。在转弯及跌水处应采取防护措施。

5.2.14 建筑场地内的铁路路基应有良好的排水系统，不得利用道砟排水。路基顶面的排水应引向远离建筑物的一侧。在暗道床处，应将基床表面翻松夯（或压）实，也可采用优质防水材料处理。道床内应设防止积水的排水措施。

5.3 建筑设计

5.3.1 建筑设计应符合下列规定：

1 建筑物的体形和纵横墙布置，应有利于加强其空间刚度，并具有适应或抵抗湿陷变形的能力。多层砌体承重结构的建筑，体形应简单，长高比不宜大于3。

2 合理设计建筑物的雨水排水系统，多层建筑的室内地坪应高出室外地坪，且高差不宜小于450mm。

3 用水设施宜集中设置，缩短地下管线并远离主要承重基础，其管道宜明装。

4 在防护范围内设置绿化带，应采取的措施防止地基土受水浸湿。

5.3.2 单层和多层建筑物的屋面宜采用外排水；当采用有组织外排水时，宜选用耐用材料的水落管，其末端距离散水面不应大于300mm，并不应设置在沉降缝处；集水面积大的外落水管，

应接入专设的雨水明沟或管道。

5.3.3 建筑物的周围应设置散水，其坡度不得小于5%。散水外缘应略高于平整后的场地，散水的宽度应符合下列规定：

1 当屋面为无组织排水时，檐口高度在8m以内宜为1.50m；檐口高度超过8m，每增高4m宜增宽0.25m，但最宽不宜大于2.50m；

2 当屋面为有组织排水时，非自重湿陷性黄土场地不得小于1.00m，自重湿陷性黄土场地不得小于1.50m；

3 水池的散水宽度宜为1.00m~3.00m，散水外缘超出水池基底边缘不应小于0.20m，喷水池等的回水坡或散水的宽度宜为3.00m~5.00m；

4 高耸结构的散水宜超出基础底边缘1.00m，且宽度不得小于5.00m。

5.3.4 散水应用现浇混凝土浇筑，并应符合下列规定：

1 其下应设置150mm厚的灰土垫层或300mm厚的土垫层，垫层应超出散水或建筑物外墙基础底外缘500mm；

2 散水宜每隔6m~10m设置一条伸缩缝。散水与外墙交接处和散水的伸缩缝，应用柔性防水材料封填，沿散水外缘不宜设置排水明沟。

5.3.5 经常受水浸湿或可能积水的地面，应按防水地面设计，并应符合下列规定：

1 采用严格防水措施的建筑，其防水地面应设防水层；

2 地面坡向集水点的坡度不得小于1%；

3 地面与墙、柱、设备基础等交接处应做翻边，地面下应做300mm~500mm厚的灰土或土垫层；

4 管道穿过地坪处应做好防水处理；排水沟与地面混凝土宜一次浇筑。

5.3.6 排水沟的材料和做法，应根据场地湿陷类型、建筑物类别和使用要求选定，并应符合下列规定：

1 排水沟下应设灰土或土垫层；

- 2 防护范围内宜采用钢筋混凝土排水沟；
 - 3 在非自重湿陷性黄土地地，室内小型排水沟可采用素混凝土浇筑，但应做防水地面；
 - 4 采用严格防水措施的建筑，排水沟应增设防水层。
- 5.3.7** 基础梁底下应预留空隙，并应采取有效措施防止地面水渗入地基。地下室采光井应做好防、排水措施。
- 5.3.8** 防护范围内的各种地沟和管沟的做法，均应符合本标准第 5.5.10 条～第 5.5.17 条的规定。

5.4 结构设计

5.4.1 当地基不处理或仅消除地基的部分湿陷量时，结构设计应根据建筑物类别、地基湿陷等级或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，以及建筑物对不均匀沉降的敏感度等确定采取的结构措施，并应符合下列规定：

- 1 选择适宜的结构体系和基础形式；
 - 2 墙体宜选用轻质材料；
 - 3 加强结构的整体性和空间刚度；
 - 4 预留适应沉降的净空。
- 5.4.2** 建筑物的平面、立面布置复杂时，宜采用沉降缝将建筑物分成若干个简单、规则，并应具有较大空间刚度的独立单元。沉降缝两侧，各单元应设置独立的承重结构体系。
- 5.4.3** 高层建筑的设计，宜选用轻质高强材料，应加强上部结构刚度和基础刚度，并宜采取下列措施：
- 1 调整上部结构荷载合力作用点与基础形心的位置，减小偏心；
 - 2 采用桩基础或采用减小沉降的其他有效措施，控制建筑物的不均匀沉降或倾斜；
 - 3 主楼与裙房采用不同的基础形式时，应考虑高低不同部位沉降差的影响，并采取相应的措施。
- 5.4.4** 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。

5.4.5 地下管道或管沟穿过建筑物的基础或墙时，应预留洞孔，并应符合下列规定：

1 洞顶与管道及管沟顶间的净空高度：消除地基全部湿陷量的建筑物，不宜小于 200mm；消除地基部分湿陷量和未处理地基的建筑物，不宜小于 300mm。洞边与管沟外壁应脱离。

2 洞边与承重外墙转角处外缘的距离不宜小于 1m；当不能满足要求时，可采用钢筋混凝土框加强。

3 洞底距基础底不应小于洞宽的 1/2，并不宜小于 400mm，当不能满足要求时，应局部加深基础或在洞底设置钢筋混凝土梁。

5.4.6 砌体承重结构建筑的现浇钢筋混凝土圈梁、构造柱或芯柱设置，应符合下列规定：

1 乙类、丙类建筑的基础内和屋面檐口处，均应设置钢筋混凝土圈梁。乙类、丙类中的多层建筑，应每层设置钢筋混凝土圈梁。单层厂房和单层空旷房屋，当檐口高度大于 6m 时，宜增设钢筋混凝土圈梁。

2 丁类建筑地基湿陷等级为Ⅱ级时，应在基础内和屋面檐口处设置配筋砂浆带；地基湿陷等级为Ⅲ级、Ⅳ级时，应在基础内和屋面檐口处设置钢筋混凝土圈梁。

3 采用严格防水措施的多层建筑，应每层设置钢筋混凝土圈梁。

4 各层圈梁均应设在外墙、内纵墙和对整体刚度起重要作用的内横墙上，横向圈梁的水平间距不宜大于 16m。圈梁应在同一标高处闭合，遇有洞口时应上下搭接，搭接长度不应小于其竖向间距的 2 倍，且不得小于 1m。

5 在纵横圈梁交界处的墙体内，宜设置钢筋混凝土构造柱或芯柱。

5.4.7 多层砌体承重结构建筑，不得采用空斗墙和无筋过梁。砌体承重结构建筑的窗间墙宽度，在承受主梁处或开间轴线处，不应小于主梁或开间轴线间距的 1/3，并不应小于 1.0m；在其他承重墙处，不应小于 0.6m。门窗洞孔边缘至建筑物转角处（或变形缝）的间距不应小于 1.0m。当不能满足要求时，应在孔洞周边采用钢筋混凝土框加强，或在转角及轴线处加设构造柱或芯柱。

5.4.8 当砌体承重结构建筑的门窗洞或其他洞孔的宽度大于 1m，且地基未处理或未消除地基的全部湿陷量时，应采用钢筋混凝土过梁。

5.4.9 厂房内吊车上的净空高度，对消除地基全部湿陷量的建筑不宜小于 200mm，对消除地基部分湿陷量或地基未处理的建筑不宜小于 300mm。吊车梁应设计为简支。吊车梁和吊车轨之间应采用能调整的连接方式。

5.4.10 预制钢筋混凝土梁在砖墙、砖柱上的支承长度不宜小于 240mm；预制钢筋混凝土板在砖墙上的支承长度不宜小于 100mm，在梁上不应小于 80mm。

5.5 给水排水、供热与通风设计

I 储水构筑物

5.5.1 储水构筑物应根据其重要性、刚度、容积、地基湿陷等级，结合当地建筑经验采取设计措施。

5.5.2 埋地管道与储水构筑物之间或储水构筑物相互之间的防

护距离应符合下列规定：

1 自重湿陷性黄土场地，应与建筑物之间的防护距离的规定相同，当不能满足要求时，应加强储水构筑物的防渗漏处理；

2 非自重湿陷性黄土场地，可按一般地区的规定设计。

5.5.3 建筑物防护范围内的储水构筑物，当技术经济合理时，宜架空明设于地面或地下室地面以上。

5.5.4 储水构筑物应采用防渗现浇钢筋混凝土结构。预埋件和穿池壁的套管，应在现浇混凝土前埋设，不得事后钻孔、凿洞。

5.5.5 储水构筑物的地基处理，应采用整片灰土或土垫层，并应符合下列规定：

1 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；自重湿陷性黄土场地，一般水池的垫层的厚度应为1.00m~2.50m，特别重要的水池，宜消除地基的全部湿陷量；

2 垫层外放尺寸不宜小于垫层厚度，且不得小于0.50m；

3 垫层的压实系数不得小于0.97。

5.5.6 基槽侧向宜采用灰土回填，压实系数不应小于0.94。

II 给水、排水管道

5.5.7 给水、排水管道设计，应符合下列规定：

1 室内管道宜明装；暗设管道应设置便于检修的设施；

2 室外管道宜布置在防护范围外；布置在防护范围内的地下管道，应采取防水措施；

3 管道接口应严密不漏水，并应具有柔性；管道接口法兰、卡扣、卡箍等应安装在检查井或地沟内，不应埋在土层中；

4 设置在地下的管道检漏管沟和检漏井，应便于检查和排水。

5.5.8 地下管道管材的选用，应符合下列规定：

1 管沟及管井内的压力管道宜采用球墨给水铸铁管、给水塑料管、钢管、不锈钢管、钢塑复合管、双金属复合管等；

2 埋地压力管道宜采用球墨给水铸铁管、给水塑料管、焊接不锈钢管、丝接钢管、熔接钢塑复合管、预应力钢筒混凝土管或预应力钢筋混凝土管等；

3 自流管道宜采用排水铸铁管、塑料排水管、钢塑复合排水管、玻璃钢夹砂排水管、离心成型钢筋混凝土排水管等；

4 对埋地给水铸铁管、不锈钢管及熔接钢塑复合管应做防腐处理，对埋地钢管及钢配件应做加强防腐层；

5 管材、管件均应符合国家及行业现行相关产品标准的规定。

5.5.9 屋面雨水引出外墙后，应接入室外雨水明沟、管道或检查井。

5.5.10 检漏管沟应作防水处理，其材料与做法应符合下列规定：

1 对检漏防水措施，应采用砖壁混凝土槽形底检漏管沟或砖壁钢筋混凝土槽形底检漏管沟；管沟高度大于1.6m时应采用钢筋混凝土检漏管沟。

2 对严格防水措施，应采用钢筋混凝土检漏管沟。在自重湿陷性黄土地，地基受水浸湿可能性大的建筑，宜增设防水层，防水层应做保护层。

3 对高层建筑或重要建筑，当有成熟经验时，也可采用其他形式的检漏管沟或具备检漏报警功能的直埋管中管。

4 直径较小、长度较短的管道，采用检漏管沟确有困难时，可采用金属套管或钢筋混凝土套管代替管沟。

5.5.11 检漏管沟设计，除应符合本标准第5.5.10条的规定外，尚应符合下列规定：

1 检漏管沟的盖板不宜明设。当明设时或在人孔处，应采取防止地面水流入沟内的措施。

2 检漏管沟的沟底应设坡度，并应坡向检漏井。进、出户管的检漏管沟，沟底坡度宜大于2%。

3 检漏管沟的截面，应根据管道管径、数量和安装与检修

的要求确定。在使用和构造上需保持地面完整或当地下管道较多并需集中设置时，宜采用半通行或通行管沟（管廊）。

4 不得利用建筑物和设备基础作为沟壁或井壁。

5 检漏管沟在穿过建筑物基础或墙处不得断开，并应加强其刚度。检漏管沟穿出外墙的施工缝，宜设在室外检漏井处或超出基础 3m 处。

5.5.12 甲类建筑和自重湿陷性黄土场地上乙类中的重要建筑，室内地下管线宜敷设在地下室或半地下室的设备层内。穿出外墙的进、出户管段，应设置在管沟内，且宜集中设置在半通行管沟内。

5.5.13 穿基础或穿墙的地下管道、管沟，在基础或墙内预留洞的尺寸，应符合本标准第 5.4.5 条的规定。

5.5.14 检漏井设计，应符合下列规定：

1 检漏井应设置在管沟末端和管沟沿线分段的每段下游检漏处；

2 检漏井内宜设集水坑，其深度不应小于 300mm；

3 当检漏井与排水系统接通时，应防止倒灌。

5.5.15 检漏井、阀门井、消火栓井、消防水泵接合器井、洒水栓井、雨水篦井和检查井等，应做内壁防水处理，并应符合下列规定：

1 应采取防止地面水、雨水流入井内的措施；

2 防护范围内的各种井，宜采用与检漏管沟相应的材料；

3 不得利用检查井、消火栓井、消防水泵接合器井、洒水栓井和阀门井等兼做检漏井；但检漏井可与检查井或阀门井共壁合建；

4 不宜采用闸阀套筒代替阀门井。

5.5.16 在湿陷性黄土场地，地下管道及其附属构筑物，如检漏井、阀门井、检查井、管沟、消火栓井、消防水泵接合器井等的地基设计，应符合下列规定：

1 应设 150mm~300mm 厚的土垫层；对埋地的重要管道

或大型压力管道及其附属构筑物，尚应在土垫层上设 300mm 厚的灰土垫层；

2 对埋地的非金属自流管道，应符合本条第 1 款地基处理要求，且应设置混凝土条形基础。

5.5.17 管道穿过井（或沟）时，应在井（或沟）壁处预留洞孔或预埋防水套管。管道与洞孔、套管间的缝隙，应采用不透水的柔性材料填塞。

5.5.18 管道穿过地下室外墙、屋面、水池的池壁处，宜设柔性防水套管或直接预埋翼环套管，且应在连接设备穿水池的池壁处设柔性防水套管并在管道上加设柔性接头或软管。水池的溢水管和泄水管，应接入能满足排水量的排水系统或明沟、集水坑。

III 供热管道与风道

5.5.19 采用直埋敷设的供热管道，管材选用应符合国家现行有关标准的规定。对重点监测管段，宜设置泄漏报警系统。

5.5.20 采用管沟敷设的供热管道，在防护距离内的管沟材料及做法应符合本标准第 5.5.10 条和第 5.5.11 条的规定；各种地下井、室应采用与管沟相应的材料及做法。在防护距离外的管沟可采取基本防水措施。阀门不宜设在沟内。

5.5.21 供热管沟的沟底坡度宜大于 2%，并应坡向室外检查井。检查井内应设集水坑，其深度不应小于 300mm。检查井可与检漏井合并设置。在过门地沟的末端应设检漏孔，地沟内的管道应采取防冻措施。

5.5.22 直埋敷设的供热管道、管沟和各种地下井、室及固定墩等的地基处理，应符合本标准第 5.5.16 条的规定。

5.5.23 直埋敷设管道的补偿器、阀门、疏水装置等宜布置在检查井内。

5.5.24 地下风道和地下烟道的人孔或检查孔等，不应设在有可能积水的位置。确有困难时，应采取措施防止地面水流入。

5.5.25 架空管道和室内外管网的泄水、冷凝水，不得任意排放。

5.6 地基计算

5.6.1 湿陷性黄土地地自重湿陷量的计算值和湿陷性黄土地地基湿陷量的计算值，应按本标准第4.4.3条和第4.4.4条的规定分别进行计算。

5.6.2 湿陷性黄土地地基需要变形验算时，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的有关规定。但其中沉降计算经验系数 φ_s 可按表5.6.2取值。

表 5.6.2 沉降计算经验系数

\bar{E}_s (MPa)	3.30	5.00	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	20.00
φ_s	1.80	1.22	0.82	0.62	0.50	0.40	0.35	0.30

\bar{E}_s 为变形计算深度范围内压缩模量的当量值，应按下式计算：

$$\bar{E}_s = \frac{\sum A_i}{\sum \frac{A_i}{E_{si}}} \quad (5.6.2)$$

式中： A_i ——第*i*层土附加应力系数曲线沿土层厚度的积分值；

E_{si} ——第*i*层土的压缩模量值 (MPa)。

5.6.3 湿陷性黄土地地基承载力的确定，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。

5.6.4 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，并按修正后的地基承载力特征值确定。偏心荷载作用下，相应于荷载效应标准组合，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。

5.6.5 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：

$$f_a = f_{ak} + \eta_b \gamma (b - 3) + \eta_d \gamma_m (d - 1.50) \quad (5.6.5)$$

式中： f_a ——修正后的地基承载力特征值 (kPa)；

f_{ak} ——相应于 $b=3\text{m}$ 和 $d=1.50\text{m}$ 的地基承载力特征值 (kPa)，可按本标准第 5.6.3 条的原则确定；

η_b 、 η_d ——分别为基础宽度和基础埋深的承载力修正系数，可根据基底下土的种类按表 5.6.5 采用；

γ ——基础底面以下土的重度 (kN/m^3)，地下水位以下取浮重度；

γ_m ——基础底面以上土的加权平均重度 (kN/m^3)，地下水位以下取浮重度；

b ——基础底面宽度 (m)，当基础宽度小于 3m 或大于 6m 时，分别按 3m 或 6m 取值；

d ——基础埋置深度 (m)，宜自室外地面标高算起；当为填方时，可自填土地面标高算起，但填方在上部结构施工后完成时，应自天然地面标高算起；对于地下室，采用箱形基础或筏形基础时，基础埋置深度可自室外地面标高算起；在其他情况下，应自室内地面标高算起。

表 5.6.5 基础宽度和基础埋深的承载力修正系数

土的种类	有关物理指标	承载力修正系数	
		η_b	η_d
晚更新世 (Q_3)、全新世 (Q_4) 湿陷性黄土	$w \leq 24\%$	0.20	1.25
	$w > 24\%$	0	1.10
新近堆积 (Q_4^2) 黄土		0	1.00

续表 5.6.5

土的种类	有关物理指标	承载力修正系数	
		η_b	η_d
饱和黄土	e 及 I_L 都小于 0.85	0.20	1.25
	e 或 I_L 大于等于 0.85	0	1.10
	e 及 I_L 都不小于 1.00	0	1.00

注：饱和黄土是指 $I_p > 10$ 、饱和度 $S_r \geq 80\%$ 的晚更新世 (Q_3)、全新世 (Q_4) 黄土。

5.6.6 湿陷性黄土地基的稳定性计算，除应符合现行国家标准《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定外，尚应符合下列规定：

1 确定滑动面时，应考虑湿陷性黄土地基中可能存在的竖向节理和裂隙；

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。

5.7 桩 基

5.7.1 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：

- 1 采用地基处理措施不能满足设计要求的建筑；
- 2 对整体倾斜有严格限制的高耸结构；
- 3 对不均匀沉降有严格限制的建设和设备基础；
- 4 主要承受水平荷载和上拔力的建筑或基础；
- 5 经技术经济综合分析比较，采用地基处理不合理的建筑。

5.7.2 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、湿陷性黄土层厚度、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。

5.7.3 湿陷性黄土场地的甲类、乙类建筑物桩基，其桩端必须穿透湿陷性黄土层，并应选择压缩性较低的岩土层作为桩端持力层。

5.7.4 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 G 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 5.7.5 条、第 5.7.6 条的规定进行估算。

5.7.5 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。

5.7.6 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 5.7.6 中的数值估算。

表 5.7.6 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。

5.7.7 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:

$$Q_g^n = 2\eta_n \cdot u \bar{q}_{sa} z \quad (5.7.7-1)$$

$$\eta_n = s_{ax} \cdot s_{ay} / \left[\pi d \left(\frac{2 \bar{q}_{sa}}{\gamma_s} + \frac{d}{4} \right) \right] \quad (5.7.7-2)$$

式中: Q_g^n ——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(5.7.7-2)计算得群桩效应系数 $\eta_n > 1$ 时, 取 $\eta_n = 1$;

u ——桩身周长 (m);

\bar{q}_{sa} ——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)。

5.7.8 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。

5.7.9 在 ①、②区的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。其他地区的自重湿陷性黄土场地, 桩的纵向钢筋长度, 不应小于自重湿陷性黄土层的厚度。

5.7.10 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。

5.8 基坑设计

5.8.1 湿陷性黄土场地的基坑开挖与支护应进行专项设计, 勘察资料不满足专项设计要求时应进行专项勘察。专项设计宜具备下列资料:

- 1 岩土工程勘察报告；
- 2 建筑总平面图，地下管线图，地下结构的平面图和剖面图；
- 3 邻近建筑物和地下设施的类型及分布情况、基础形式、基础埋深、地基处理方法及深度等，并宜对结构质量进行检测评价；
- 4 周边道路和各种管线的分布及其允许变形标准。有给排水管线在基坑附近通过时，宜对其渗漏现象进行调查。

5.8.2 湿陷性黄土场地的基坑支护设计，宜符合下列规定：

- 1 作用于支护结构的土压力和水压力宜按水土合算的原则计算。当按变形控制原则设计支护结构时，作用在支护结构的土压力宜考虑支护结构与土体的相互作用，也可按地区经验确定。

- 2 当基坑壁受水浸湿可能性较大时，宜采用饱和状态下黄土的强度参数进行校核，校核采用的安全系数宜根据基坑重要性及浸水可能性大小确定，但不宜小于 1.05。

- 3 对基坑周边外宽度为（1~2）倍的开挖深度范围内土体的垂直节理和裂缝对坑壁稳定性的影响进行分析。

5.8.3 湿陷性黄土层中预应力土层锚杆设计应符合下列规定：

- 1 土层锚杆锚固段不宜设置在未经处理的软弱土层、填土、不稳定土层和不良地质地段，上覆土层厚度不宜小于 4.0m，在最危险滑动面以外的有效计算长度应满足稳定计算要求。预应力锚杆自由段长度不应小于 5.0m。

- 2 锚杆锚固体上、下排间距不宜小于 2.0m，水平方向间距不宜小于 1.5m，倾角不宜小于 15°。

- 3 锚杆张拉锁定应在锚固体和外锚头强度达到设计强度以后逐根进行，张拉荷载宜为设计值的（1.05~1.10）倍，并应在稳定 5min~10min 后，退至锁定荷载锁定。锚杆锁定荷载可取锚杆设计值的（0.70~0.85）倍。

6 地基处理

6.1 一般规定

6.1.1 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。

6.1.2 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。

6.1.3 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。

6.1.4 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。

6.1.5 丙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度，应符合表 6.1.5 的规定。当按剩余湿陷量计算的地基处理厚度较大，采用表 6.1.5 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 6.1.5 丙类建筑消除地基部分湿陷量的最小处理厚度

地基湿陷等级 建筑层数	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 $\geq 1.0\text{m}$ 自重湿陷性场地：处理厚度 $\geq 2.0\text{m}$	处理厚度 $\geq 2.5\text{m}$ ，对地基浸水可能性小的建筑不宜小于 2.0m

续表 6.1.5

地基湿陷等级 建筑层数	I 级	II 级	III 级	IV 级
其他单层建筑、多层建筑	处理厚度 $\geq 1.0\text{m}$, 且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力不宜小于 100kPa	非自重湿陷性场地: 处理厚度 $\geq 2.0\text{m}$, 且下部未处理湿陷性黄土层的湿陷起始压力不宜小于 100.0kPa	处理厚度 $\geq 3.0\text{m}$, 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 $\geq 4.0\text{m}$, 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 $\geq 2.5\text{m}$, 且下部未处理湿陷性黄土层的剩余湿陷量不应大于 200.0mm 。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 $\geq 4.0\text{m}$, 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 $\geq 5.0\text{m}$, 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

6.1.6 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 2.0m 。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 4.0m 时，可采用 4.0m ；自重湿陷性黄土场地，大于 5.0m 时可采用 5.0m ，大厚度湿陷性黄土地基大于 6.0m 时可采用 6.0m ，但应在原防水措施基础上提高等级或采取加强措施。

6.1.7 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 3.0 倍；对独立基础，取其宽度的 2.0 倍；对筏形基础和宽度大于 10m 的基础取其宽度的 $(0.8\sim 1.2)$ 倍，基础宽度大者取小值，反之取大值。

2 按下式计算：

$$p_z = \lambda p_{cz} \quad (6.1.7)$$

式中： p_z ——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_{cz} ——在基础底面下 z 深度处土的自重压力值 (kPa)；

λ ——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 。

6.1.8 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：

$$p_z + p_{cz} \leq f_{az} \quad (6.1.8)$$

式中： p_z ——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_{cz} ——地基处理后，下卧层顶面上覆土的自重压力值 (kPa)；

f_{az} ——地基处理后，下卧层顶面经深度修正后的承载力特征值 (kPa)。

6.1.9 处理土层底面处下卧土层的附加压力 p_z ，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

$$p_z = \frac{b(p_k - p_c)}{b + 2z \tan \theta} \quad (6.1.9-1)$$

2 矩形基础

$$p_z = \frac{lb(p_k - p_c)}{(b + 2z \tan \theta)(l + 2z \tan \theta)} \quad (6.1.9-2)$$

式中： b ——条形或矩形基础底面的宽度 (m)；

l ——矩形基础底面的长度 (m)；

p_k ——相应于荷载效应标准组合，基础底面的平均压力值 (kPa)；

p_c ——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)；

θ ——处理层地基压力扩散线与垂直线的夹角 ($^\circ$)，灰土、水泥土垫层可取 $28^\circ \sim 30^\circ$ ；素土垫层当 $z/b < 0.25$ 时取 0° ， $z/b = 0.25$ 时取 6° ， $z/b \geq 0.50$ 取 23° ， $0.25 < z/b < 0.5$ 时可内插确定。

6.1.10 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。

6.1.11 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。可选用表 6.1.11 中的一种或多种方法组合。

表 6.1.11 湿陷性黄土地基处理方法

方法名称	适用范围	可处理的湿陷性黄土层厚度 (m)
垫层法	地下水位以上	1~3
强夯法	$S_r \leq 60\%$ 的湿陷性黄土	3~12
挤密法	$S_r \leq 65\%$, $w \leq 22\%$ 的湿陷性黄土	5~25
预浸水法	湿陷程度中等~强烈的自重湿陷性黄土场地	地表下 6m 以下的湿陷性土层
注浆法	可灌性较好的湿陷性黄土 (需经试验验证注浆效果)	现场试验确定
其他方法	经试验研究或工程实践证明行之有效	现场试验确定

6.2 垫层法

6.2.1 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。

6.2.2 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，水泥掺量可采用上重量的 7%~12%。

6.2.3 垫层的压实质量，应用压实系数 λ_c 控制，并应符合下列规定：

- 1 厚度不大于 3m 的垫层， λ_c 不应小于 0.97；
- 2 厚度大于 3m 的垫层，基底下 3m 以内 λ_c 不应小于 0.97，

3m 以下不应小于 0.95；

3 压实系数 λ_c 应按下式计算：

$$\lambda_c = \frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \quad (6.2.3)$$

式中 λ_c —— 压实系数；

ρ_d —— 垫层的控制（或设计）干密度（ g/cm^3 ）；

ρ_{dmax} —— 最大干密度（ g/cm^3 ）。

6.2.4 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。

6.2.5 垫层的承载力特征值，应根据现场原位试验结果结合下卧土层湿陷量综合确定。无承载力直接试验结果时，土垫层承载力特征值取值不宜超过 180kPa，灰土垫层承载力特征值取值不宜超过 250kPa。

6.3 强夯法

6.3.1 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。

6.3.2 强夯法处理湿陷性黄土地基的设计内容应包括夯实厚度、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。

6.3.3 夯实厚度应根据本标准第 6.1 节的规定，结合建筑物对地基的物理力学指标要求或地基处理目的及岩土工程资料等综合确定。

6.3.4 强夯能级应根据湿陷性黄土地层时代、夯实厚度、处理深度内地层含水率、饱和度等因素综合确定。初步设计时强夯能级宜根据当地试验资料或工程经验确定，无试验资料或工程经验时，可按表 6.3.4 选用。

表 6.3.4 强夯能级与夯实厚度对应关系

强夯能级 (kN·m)	夯实厚度 (m)	
	全新世 (Q ₄) 黄土或 晚更新世 (Q ₃) 黄土	中更新世 (Q ₂) 黄土
1000	3.0~4.0	—
2000	4.0~5.0	—
3000	5.0~6.0	—
4000	6.0~6.5	—
5000	6.5~7.0	—
6000	7.0~7.5	6.0~6.5
8000	7.5~8.5	6.5~7.5

注：强夯处理深度内土层含水量介于 13%~18% 且中上部无坚硬土层时，夯实厚度取高值，其他情况取低值。

6.3.5 强夯法处理湿陷性黄土地基宜采用整片处理，其平面处理范围超出建筑物基础外缘的宽度，不应小于设计夯实厚度的 1/2，且不应小于 3.0m。

6.3.6 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 (1.2~2.0) 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。

6.3.7 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。

6.3.8 全部夯点宜分 (2~3) 遍夯击，各遍夯击间隔时间可根据夯实土层孔隙水压力消散时间确定。各遍夯击的夯点应互相错开，最末一遍夯完推平后，应采用低能级满夯拍平。满夯拍平锤印宜搭叠夯锤直径的 1/3，每印痕连夯 (2~3) 击。

6.3.9 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。

6.3.10 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。

6.3.11 强夯法处理湿陷性黄土地基应根据初步设计要求选择有代表性的场地试夯或试验性施工, 并应根据试夯测试结果调整设计参数, 或修改地基处理方案。

6.4 挤密法

6.4.1 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、静压沉管法、旋挤沉管法、冲击夯扩法等挤土成孔挤密法。

6.4.2 甲类、乙类建筑或缺乏建筑经验的地区采用挤密法时, 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。

6.4.3 挤密孔的孔位, 宜按正三角形布置。孔心距可按下式计算:

$$s = 0.95 \sqrt{\frac{\eta_c \rho_{d\max} D^2 - \rho_{d0} d^2}{\eta_c \rho_{d\max} - \rho_{d0}}} \quad (6.4.3)$$

式中: s ——孔心距 (m);

D ——成桩直径 (m);

d ——预钻孔直径 (m), 无预钻孔时取 0;

ρ_{d0} ——地基挤密前孔深范围内各土层的平均干密度 (g/cm^3);

$\rho_{d\max}$ ——击实试验确定的桩间土最大干密度 (g/cm^3);

$\bar{\eta}_c$ ——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。

6.4.4 挤密法处理湿陷性黄土地基, 挤密孔直径宜为 0.35m~0.45m; 当挤密处理深度较深, 采用挤土成孔挤密法有困难, 或需要较大面积置换率时, 可采用预钻孔挤密法, 预钻孔直径宜为

0.30m~0.60m，挤密后成桩直径宜为 0.40m~0.80m。

6.4.5 挤密填孔后，3 个孔之间土的最小挤密系数 η_{dmin} ，可按下式计算：

$$\eta_{\text{dmin}} = \frac{\rho_{\text{dc}}}{\rho_{\text{dmax}}} \quad (6.4.5)$$

式中 η_{dmin} ——土的最小挤密系数：甲类、乙类建筑不宜小于 0.88；丙类建筑不宜小于 0.84；

ρ_{dc} ——挤密填孔后，相邻 3 个孔之间形心点部位土的干密度 (g/cm^3)。

6.4.6 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。

6.4.7 填料中的土料宜选用粉质黏土，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。

6.4.8 挤密地基宜在基底下设置 0.30m~0.60m 厚的垫层，垫层材料可为灰土、素土及其他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。

6.5 预浸水法

6.5.1 预浸水法宜用于处理自重湿陷性黄土层厚度大于 10m、自重湿陷量的计算值不小于 500mm 的场地。浸水前宜通过现场试坑浸水试验确定浸水时间、耗水量和湿陷量等。

6.5.2 预浸水法处理地基应符合下列规定：

1 浸水坑边缘至既有建筑物的距离不宜小于 50m，并应评估浸水对附近建筑物、市政设施及场地边坡稳定性的影响，根据评估结果确定应采取的预防措施。

2 浸水坑的边长不得小于湿陷性黄土层的厚度，当浸水坑

的面积较大时，可分段浸水。

3 当需要加快自重湿陷发生速度时，宜在浸水坑内打渗水孔，孔间距不宜大于 3m，深浅孔宜相间布置。

4 浸水坑内的水头高度不宜小于 300mm，浸水应连续，停止浸水时间应以湿陷变形稳定为准。湿陷变形稳定标准为最后 5 天的平均湿陷量小于 1mm/d，当处理湿陷性黄土层的厚度大于 20m 时，沉降稳定标准为最后 5 天的平均湿陷量小于 2mm/d。

5 停止浸水后还应进行排水固结沉降观测，沉降稳定标准为最后 5d 的平均湿陷量小于 1mm/d。

6.5.3 地基预浸水结束后，基础施工前应进行补充勘察，重新评定地基土的湿陷性，并应采用垫层或其他处理方法处理上部未消除湿陷性的黄土层。

6.6 组合处理

6.6.1 地基采用组合处理时，应综合考虑地基湿陷等级、处理土层的厚度、基础类型、上部结构对地基承载力和变形的要求及环境条件等因素，选择处理方法组合。

6.6.2 处理土层以下的下卧层强度验算应按本标准第 6.1.8 条规定执行。其中下卧层顶面上覆土的自重压力 p_{cz} 应采用处理后复合土层或垫层的指标计算。复合土层的重度应按下列公式计算：

$$\rho = (1 + \bar{w}_s)(1 - m)\bar{\eta}_c\rho_{dmax-s} + \sum_{i=1}^n m_i \bar{\rho}_{pi} \quad (6.6.2-1)$$

$$\bar{\rho}_{pi} = \bar{\lambda}_{ci}\rho_{dmax-pi}(1 + \bar{w}_{pi}) \quad (6.6.2-2)$$

式中： ρ ——复合土层的重度 (kN/m^3)；

m ——所有桩型面积置换率之和；

m_i ——一种桩型的面积置换率；

n ——桩型数量；

$\bar{\eta}_c$ ——桩间土平均挤密系数，宜采用实测值，初步设计时可按本标准第 6.4 节的规定采用；

$\rho_{\text{dmax-s}}$ 、 $\rho_{\text{dmax-pi}}$ ——分别为桩间土、桩体填料的最大干密度 (kN/m^3)，按击实试验确定；

ρ_{pi} ——桩体填料重度 (kN/m^3)，填料为土、灰土及水泥土时按式 (6.6.2-2) 计算；

λ_{ci} ——桩体平均压实系数，宜采用实测值，初步设计时可按本标准第 6.4 节的规定采用；

$\bar{\omega}_{\text{s}}$ ——桩间土平均含水量；

$\bar{\omega}_{\text{pi}}$ ——桩体填料含水量。

6.6.3 组合处理中采用素土挤密桩消除湿陷性时，桩间土平均挤密系数不宜小于 0.93，桩体压实系数不宜小于 0.97。

6.6.4 采用预浸水法与其他方法组合，应先对预浸水法处理效果进行检验，根据预浸水处理后地基土的实际物理力学指标选择后续处理方法。

6.6.5 挤密法和其他方法组合，应先对挤密法处理效果进行检测，对挤密后复合土层的湿陷性等工程参数做出评价。根据测试结果调整后续处理方法参数。

6.6.6 消除土层湿陷性后再采用刚性桩复合地基或桩基时，不再计算已消除湿陷的土层中桩的负摩阻力，桩侧正摩阻力宜通过试验确定。

6.7 黄土高填方地基

6.7.1 黄土填方地基应包括人工填筑形成的黄土填筑地基和其下原场地地基。填筑地基厚度大于 20m 时应定为黄土高填方地基。

6.7.2 黄土高填方地基设计，应符合下列规定：

- 1 边坡坡比应由稳定性分析确定；
- 2 边坡宜采用上陡下缓加平台的形式，坡顶及平台应设置截水沟；
- 3 边坡坡脚外应采取拦截及排除地表水的措施；
- 4 应根据渗流水位置及流量设置集水井、盲沟等降低地下

水位或将地下水排出，排水的排出口应与坡脚、坡面的排水沟合理结合，不得破坏边坡坡脚；

5 排水构造设施应采取防渗、防漏措施；

6 原地表高差较大或原地形呈 V 形深沟，致使填筑体厚度相差较大时，应对填筑后的沉降均匀性进行分析，根据分析结果确定是否采取平衡沉降的措施；

7 应设置高填方地基变形长期监测系统，并应从填筑开始进行观测。

6.7.3 勘察阶段应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。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。

6.7.4 黄土高填方地基的变形应包括原场地地基的变形和填筑地基的变形。变形中的压缩变形或湿陷变形计算应符合本标准第 5.6.1 条、第 5.6.2 条的有关规定。

6.7.5 黄土高填方地基的稳定性验算，应符合下列规定：

1 应分别进行填筑地基的稳定性、填筑地基和原场地地基的整体稳定性、填筑地基沿原场地地基接触面的稳定性验算；

2 当原场地地基中含软弱夹层时，应进行沿软弱夹层的整体稳定性验算，并结合场地条件通过试验获得软弱夹层的强度参数。

6.7.6 黄土高填方地基的原场地地基处理方法，应根据场地工程地质条件，结合建筑设计要求的地基变形允许值和场地施工的可行性等因素确定。可采用冲击碾压、强夯或挤密等方法处理；当原场地地面坡度大于 1:5 时，原场地地面应挖成台阶状并夯实，然后分层填筑填筑体。

6.7.7 黄土高填方地基的填筑地基施工，应符合下列规定：

1 应分层填筑、分层压实；当填方的两段交接处不在同一时间填筑时，应在先填筑段分层留设台阶，再分层填筑后填筑段；

2 应在接近土的最优含水量下进行碾压；

- 3 压实宽度应大于边坡设计宽度，最后削坡；
 - 4 黄土填料中可加入碎石料以形成土石混合料，碎石料含量应通过室内大型试验或现场试验确定；
 - 5 采用机械压实时，虚铺厚度应根据压实机具、土质类别和碾压遍数等通过现场试验确定。
- 6.7.8** 黄土高填方地基上的建筑施工，宜在黄土高填方地基沉降稳定后进行。

住房城乡建设部信息中心
浏览专用

7 施 工

7.1 一 般 规 定

7.1.1 湿陷性黄土场地上建筑物及附属工程施工，应采取防止施工用水、场地雨水和邻近管道渗漏水渗入建筑物地基的措施。

7.1.2 湿陷性黄土场地上建筑施工应符合下列规定：

1 施工准备应统筹安排。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。

2 宜先施工地下工程，后施工地上工程。对体形复杂的建筑物，先施工深、重、高的部分，后施工浅、轻、低的部分。

3 基础及地下室内外应及时回填。

4 敷设管道时，宜先施工排水管道，并保证其畅通。

7.1.3 建筑场地的防洪工程应提前施工，并应在汛期前完成。

7.1.4 在建筑物邻近修建地下工程时，应采取有效措施，保证原有建筑物和管道系统的安全使用，并保持场地排水畅通。

7.1.5 施工现场平面布置应符合下列规定：

1 临时施工设施与建筑物外墙的距离应符合表 7.1.5 规定。

表 7.1.5 临时施工设施与建筑物外墙的距离 (m)

临时设施	场地湿陷类型	
	非自重湿陷性黄土地	自重湿陷性黄土地
取土坑、临时防洪沟、水池、洗料场和淋灰池等	≥ 12	≥ 25
临时给水排水管道	≥ 7	≥ 10
临时搅拌站	≥ 6	≥ 10

2 临时搅拌站应做好排水设施。临时防洪沟、水池、洗料场和淋灰池等，遇有碎石土、砂土等夹层时应采取防止水渗入建筑物地基的有效措施。

3 需要浇水的材料宜堆放在硬化场地内，与基坑或基槽边缘的距离不应小于 5m。浇水时应有专人管理，严禁水流入基坑或基槽内。

4 临时给水排水管道宜敷设在场地冻结深度以下，并应通水试压检查，不漏水后方可使用。给水支管应装有阀门。在水龙头处应设排水设施，将废水引至排水系统。临时给水排水管线均应绘在施工总平面图上，有专人负责管理，并经常进行检修和维护，施工完毕应及时拆除。

5 制作和堆放预制构件、现场堆放材料和设备、重型吊车行走的场地等，应整平夯实，并保持场地排水畅通。

7.1.6 基坑或基槽开挖前，应对建筑物及其周围 3m~5m 内的地下坑穴进行探查与处理，并应绘图和详细记录其位置、大小、形状及填充情况等。在重要管道、行驶重型车辆和施工机械的通道下，应对空虚的地下坑穴进行处理。

7.1.7 基坑或基槽开挖到设计标高后，应进行验槽。验槽可采用井探、触探或其他有效方法；当发现地质条件与勘察报告和设计文件不一致或遇到异常情况时，应结合地质条件和工程条件提出处理意见，或进行施工勘察。

7.1.8 在雨期、冬期施工基坑或基槽时，应制定季节性施工专项方案；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。严寒地区冬期不宜进行基坑或基槽的施工，确需施工时，应采取预防地基或基槽土层受冻的措施。

7.1.9 垫层地基和挤密地基不得使用盐渍土、膨胀土、冻土或有机质含量大于 5% 的材料。

7.1.10 隐蔽工程完工时，应进行质量检验和验收，并应将有关资料及记录存入工程技术档案。

7.2 地基处理和桩基施工

I 垫层施工

7.2.1 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。

7.2.2 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。

7.2.3 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。

7.2.4 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。

7.2.5 垫层施工过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。

II 强夯施工

7.2.6 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 0.5m~1.0m 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。

7.2.7 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。增湿注水量可按式计算：

$$Q = k(\omega_{op} - \bar{\omega})\bar{\rho}_d Ah \quad (7.2.7)$$

式中：Q——估算注水量 (t)；

ω_{op} ——土的最优含水量，宜采用重型击实试验结果；

$\bar{\omega}$ ——拟增湿土层内土的天然含水量按厚度的加权平均值；

$\bar{\rho}_d$ ——拟增湿土层地基处理前土的平均干密度 (t/m^3)；

A——拟增湿土面积 (m^2)；

h——拟增湿土层厚度 (m)；

k——系数，可取 0.95~1.00。

7.2.8 夯锤底面宜为圆形，并按夯锤底面积大小均匀设置 (4~6) 个直径 250mm~300mm 上下贯通的排气孔。锤重宜为 80kN~400kN，锤底静压力宜为 20kPa~80kPa。

7.2.9 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。

7.2.10 强夯施工过程中或施工结束后应进行施工自检，并应符合下列规定：

1 检查强夯施工记录，每个夯点的累计夯沉量不得小于试夯时各夯点平均夯沉量的 95%；最后 2 击平均夯沉量应满足设计要求；

2 在已完工的区域每 $500\text{m}^2 \sim 1000\text{m}^2$ 选取 1 处分层检测土的干密度、压缩系数和湿陷系数。

7.2.11 施工场地周围对环境保护有要求时，应对强夯施工产生的振动、噪声及扬尘等污染采取改善措施。

III 挤密施工

7.2.12 挤密法处理地基施工前，对甲类、乙类建筑或缺乏建筑经验的地区，应在现场选择有代表性的地段进行试验或试验性施工。预钻孔夯扩挤密工艺施工前应进行试验性施工。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。

7.2.13 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。增湿注水量可按本标准式 (7.2.7) 估算，式中 ω_{op} 宜采用轻型击实试验结果，系数 k 可取 0.90~1.05。

7.2.14 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。

7.2.15 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。

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

7.2.17 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。

IV 桩基施工

7.2.18 湿陷性黄土场地上灌注桩施工应符合下列规定：

1 宜采用干作业机械旋挖或长螺旋钻中心压灌混凝土等干作业工艺，不宜采用泥浆护壁钻孔工艺，确需采用时，应采取降低泥浆水对地基土产生不利影响的措施。

2 钻孔、挖孔、扩底及护壁施工过程中，不得让雨水和地表水流入桩孔内。

3 应合理安排工序，减少各工序之间的间歇时间。非干孔作业时，成孔应连续进行。成孔后应尽快浇筑混凝土，浇筑过程不应中断。

4 浇筑混凝土时返上的泥浆应集中收集并及时清理。泥浆池应有防渗措施。

7.2.19 沉管灌注桩、长螺旋钻中心压灌灌注桩施工应符合下列规定：

1 成桩施工拔管速度应均匀，并控制拔管速度和拔管高度；

2 在饱和黄土层中宜采用反插法，必要时尚应复打。

7.2.20 静压与锤击预制桩施工应符合下列规定：

1 桩长范围内有饱和软弱黄土层或土体含水量偏大土层时，应采取防止地面隆起使桩上浮的措施。

2 锤击预制桩施工过程中，宜根据土层结构合理调整施工参数，将地面振动控制在安全范围内。振源较深时，宜在邻近建筑物附近开挖减振沟。

3 桩长范围内有钙质结核层的黄土地带，打或压入预制桩施工前应进行工艺性试桩，检验施工工艺可行性。

7.3 基坑和基槽施工

7.3.1 湿陷性黄土场地的基坑支护施工，应符合下列规定：

1 基坑开挖前和施工期间，应对周围建筑物、地下管线、地下构筑物等状况进行监测；并应对基坑周边外宽度为（1~2）倍坑深范围内的土体垂直节理和裂缝采取防止地面水流入裂缝内的防护措施。

2 开挖前宜先完成基坑周边防排水设施的施工。

3 土方开挖完成后应及时对基坑坡面进行封闭，并应及时进行地下结构施工。基坑土方开挖应严格按设计要求进行，不得超挖；基坑周边荷载，不得超过设计限制荷载。

4 在地下水位以上黄土层中施工锚杆时，不应采用用水量大的成孔工艺。

5 土方开挖施工过程留置的临时坡道应根据计算确定支护措施。

6 当大型基坑内的土挖至接近设计标高，而下一工序不能连续进行时，宜在设计标高以上保留 300mm~500mm 厚的土层，待继续施工时挖除。开挖施工过程中的积水应及时排除。

7 地下结构施工至地面时，应及时清除杂物并进行回填。

7.3.2 基槽的开挖与回填，应符合下列规定：

1 基槽开挖前应对各种工况下槽壁的稳定性进行验算和判定。支撑及围护构件几何尺寸、强度等参数应通过计算确定。

2 开挖应分层、分段并及时支撑；当基槽挖至设计深度或标高时，应及时验槽。

3 从基槽内挖出的土堆放在基槽附近时，堆放高度、与基槽壁边缘的距离应通过稳定性验算确定。

4 基槽两侧宜设置防排水设施，防止雨水流入基槽。

5 垫层或基础施工前，应在基槽底面打底夯，同一夯点不宜少于3遍。当表层土的含水量过大或局部地段有松软土层时，应采取晾干或换土等措施。

6 基础施工完毕，其周围的灰、砂、砖等杂物应及时清除，并应用素土或灰土在基础周围分层回填夯实至散水垫层底面或室内地坪垫层底面，回填压实系数不宜小于0.94。

7.4 上部结构施工

7.4.1 建筑结构施工过程中对作业层用水、雨雪水应有组织排放，不得流入建筑底层室内回填土、变形缝、混凝土后浇带、管沟或管井、基坑或基槽内。

7.4.2 水暖管沟穿过建筑物基础时，不得留施工缝。穿过外墙时，应一次施工至室外的第一个检查井，或距基础3m以外。沟底应有向外排水的坡度。施工中应防止雨水或地面水流入地基，施工完毕后应及时清理、验收、加盖和回填。

7.4.3 地下工程施工至超出设计地面后，应按设计要求及时进行室内外土方回填。设计无要求时，回填土应分层夯实或压实，压实系数不得小于0.94。

7.4.4 屋面施工完毕，应及时安装天沟、水落管和雨水管道等，并直接将雨水引至室外排水系统。散水的伸缩缝不得设在水落管处。

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

7.5 管道和储水构筑物施工

7.5.1 各种管材及其配件进场时应进行复检，复检合格后方可使用。

7.5.2 管道及其附属构筑物的基础与地基施工时，应将基槽底夯实，并应采取分段流水作业，迅速完成各分段的全部工序。管道敷设完毕，应及时回填。

7.5.3 敷设管道时，管道应与管基或支架密合，管道接口应严密不漏水。金属管道的接口焊缝不得低于Ⅲ级。新、旧管道连接时，应先做好排水设施。当昼夜温差大或在负温度条件下施工时，管道敷设后，宜及时保温。

7.5.4 施工水池、化粪池、检漏管沟、检漏井和检查井等，应确保砌体砂浆饱满、混凝土浇捣密实、防水层严密不漏水。穿过池、井或沟壁的管道和预埋件，应预先设置，不得打洞。铺设盖板前，应将池、井或沟底清理干净。池、井或沟壁与基槽间，应用素土或灰土分层回填夯实，压实系数不应小于 0.95。

7.5.5 成品化粪池施工时，应根据黄土场地的湿陷类型采取相应的防护措施。自重湿陷性黄土场地宜将成品化粪池设在钢筋混凝土基槽内；非自重湿陷性黄土场地成品化粪池施工应按本标准第 7.5.4 条执行。

7.5.6 管道和水池、化粪池等施工完毕，应进行水压及满水试验。不合格的应返修或加固，重做试验，直至合格为止。清洗管道、池的用水和试验用水，应将其引至排水系统，不得任意排放。

7.5.7 埋地压力管道的水压试验，应符合下列规定：

1 管道试压应逐段进行，每段长度在场地内不宜超过 400m，在场地外不应超过 1000m。分段试压合格后，两段之间管道连接处的接口，应通水检查，不漏水后方可回填。

2 在非自重湿陷性场地，管基经检查合格，沟槽间填至管顶上方 0.50m 后（接口处暂不回填），应进行 1 次强度和严密性

试验。

3 在自重湿陷性黄土地段，非金属管道的管基经检查合格后，应进行 2 次强度和严密性试验：沟槽回填前，应分段进行强度和严密性的预先试验；沟槽回填后，应进行强度和严密性的最后试验。对金属管道，应进行 1 次强度和严密性试验。

7.5.8 建筑物防护距离外的城镇、建筑群及小区的室外埋地压力管道试验应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的有关规定。

7.5.9 建筑物防护距离内的室外及建筑物内埋地压力管道的试验除应符合现行国家标准《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242 的规定外，尚应符合下列规定：

1 建筑物内埋地压力管道的试验压力，不应小于 0.60MPa；生活饮用水和生产、消防合用管道的试验压力应为工作压力的 1.50 倍；

2 强度试验，应先加压至试验压力，保持恒压 10min，接口、管道和管道附件无破损及无漏水现象时，管道强度试验为合格；

3 严密性试验，应在强度试验合格后进行；试验时，宜将试验压力降至工作压力加 0.10MPa，金属管道恒压 2h 不漏水、非金属管道恒压 4h 不漏水即为合格，并应记录为保持试验压力所补充的水量；

4 在严密性的最后试验中，为保持试验压力所补充的水量不应超过预先试验时各分段补充水量及阀件等渗水量的总和；

5 工业厂房内埋地压力管道的试验压力，应符合有关工业标准的规定。

7.5.10 埋地无压管道、检查井、雨水管的水压试验，应符合下列规定：

1 水压试验应采用闭水法。

2 试验应分段进行，宜以相邻两段检查井间的管段为一段。对每一分段应进行 2 次严密性试验：沟槽回填前进行预先试

验；沟槽回填至管顶上方 0.50m 以后，进行复查试验。

7.5.11 室外埋地无压管道闭水试验，应符合现行国家标准《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268 的有关规定。

7.5.12 室内埋地无压管道闭水试验水头应为一层楼的高度，并不应超过 8m；室内雨水管道闭水试验水头，应为注满立管上部雨水斗的水位高度。闭水试验经 24h 不漏水即为合格，并记录在试验时间内为保持试验水头所补充的水量。复查试验时，为保持试验水头所补充的水量不应超过预先试验的数值。

7.5.13 对水池、化粪池应按设计水位进行满水试验，并应符合现行国家标准《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB 50141 的有关规定。

7.5.14 埋地管道的沟槽应分层回填夯实。在管道外缘的上方 0.50m 范围内压实系数不得小于 0.90，其他部位回填土的压实系数不得小于 0.94。

8 地基及桩基验收检验

8.1 一般规定

8.1.1 验收检验的项目和参数应根据地基或桩基类型、地基处理目的、国家现行标准规定及设计要求综合确定。

8.1.2 承载力应通过静载荷试验确定。采用其他方法检测承载力应有本场地同条件下静载试验对比结果。

8.1.3 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。浸水载荷试验应符合本标准附录 H 或附录 J 的规定。

8.1.4 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。

8.1.5 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》GB 50202 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。

8.2 地基验收检验

8.2.1 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 1500m^2 的，超出部分每 500m^2 增加 1 点，不足 500m^2 按 500m^2 计。

2 压实系数应分层取样检测。检测点数量，对整片垫层，每层每 200m^2 面积内应有一个检测点，且每层不应少于 3 点；对宽度小于 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 。

8.2.2 强夯地基应检验承载力和夯实土的物理力学指标，并应符合下列规定：

1 承载力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 1500m^2 的，超出部分每 500m^2 增加 1 点，不足 500m^2 按 500m^2 计；超出 10000m^2 部分每 1000m^2 增加 1 点，不足 1000m^2 按 1000m^2 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 400m^2 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。

8.2.3 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，取样位置应在距桩心 $2/3$ 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。

8.2.4 预浸水法处理的地基，应检验地基土物理力学指标和湿陷系数，并应评价场地和地基湿陷性。检测点数为每 $500\text{m}^2 \sim 1000\text{m}^2$ 一点，且不应少于 3 点。

8.2.5 组合法处理地基的验收检验应符合下列规定：

1 强夯地基后采用刚性桩或桩基础时，应先对夯实质量进行检验，检验合格后才能进行下道工序施工。检验应按本标准第 8.2.2 条第 2 款、第 3 款的规定执行。

2 挤密地基后采用刚性桩复合地基或桩基础时，设计无要求时可不检验挤密地基承载力，但应检验挤密质量，检验合格后才能进行下道工序施工。检验应按本标准第 8.2.3 条第 2 款、第 3 款、第 5 款执行。

3 强夯或挤密地基后采用刚性桩复合地基时，承载力应按

刚性桩置换率采用复合地基静载荷及单桩静载荷试验确定，检测数量之和不应少于刚性桩桩数的1%，且每单体工程各不应少于3点；桩身完整性采用低应变法检测时，数量不应少于桩数的10%。

4 挤密或强夯后采用桩基时，桩基检验应符合本标准第8.3节的规定。

8.3 桩基验收检验

8.3.1 甲类、乙类建筑物，或地质条件复杂、成孔质量可靠性低的工程，当混凝土灌注桩设计桩长不小于20m时，施工过程中应进行成孔质量检测。同类型桩检测数量不应少于总桩数的20%，且不应少于10根。

8.3.2 桩施工完成后应对桩身质量进行检验，宜选用低应变法、声波透射法或钻芯法，并应符合下列规定：

1 采用低应变法时，检测数量应符合下列规定：

1) 对灌注桩，满堂布置时抽检数量不应少于总桩数的30%，且不得少于20根；墙下或柱下承台布桩时宜全部检测；

2) 其他桩基工程的抽检数量不应少于总桩数的20%，且不少于10根。

2 采用声波透射法或钻芯法时，抽检数量不应少于总桩数的10%，且每个承台下的抽检数量不应少于1根；钻芯法岩芯采取率不应低于90%。

8.3.3 桩基承载力检验可采用单桩静载试验或高应变法，并应符合下列规定：

1 单位工程内同一条件下的工程桩，当符合下列条件之一时，应采用单桩竖向抗压静载试验进行验收检验，抽检数量不应少于总桩数的1%，且不应少于3根；当总桩数在50根以内时，不应少于2根。

1) 设计等级为甲级的桩基；

- 2) 挤土群桩施工产生挤土效应；
- 3) 桩侧或桩端采用后注浆的桩；
- 4) 载体桩、扩底桩、支盘桩等异型桩；
- 5) 地质条件复杂、桩施工质量可靠性低；
- 6) 施工过程中工艺变更或施工质量出现异常；
- 7) 本地区采用的新桩型或新工艺。

2 除本条第 1 款规定外的预制桩和满足高应变法适用检测条件的灌注桩，在正式施工前进行过试桩承载力静载荷试验的，可采用高应变法进行单桩竖向抗压承载力验收检验。抽检数量在同一条件下不应少于总桩数的 5%，且不得少于 5 根。

8.3.4 端承型大直径灌注桩，当受设备或现场条件限制无法采用静载荷试验检测单桩竖向抗压承载力时，可采用钻芯法测定桩底沉渣厚度并钻取桩端持力层岩土芯样检验桩端持力层，抽检数量不应少于总桩数的 10%，且不应少于 10 根。

8.3.5 桩长范围内土层有湿陷性时，基桩承载力宜通过浸水载荷试验判定。在桩侧土天然含水量状态下进行载荷试验时，应按本标准第 5.7.5 条、第 5.7.6 条的规定对承载力试验结果进行折减。桩基浸水载荷试验应符合本标准附录 G 的规定。

8.3.6 承受上拔力和水平力较大的桩基，应进行单桩竖向抗拔和水平承载力检测。抽检数量不应少于总桩数的 1%，且不应少于 3 根。

9 既有建筑物地基加固和纠倾

9.1 一般规定

9.1.1 湿陷性黄土地区的既有建筑物或设备基础，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，继续发展可能导致基础变形或破坏，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》GB 50007 规定的允许值。

9.1.2 湿陷性黄土地区的既有建筑物或设备基础，出现下列情况时宜进行纠倾：

- 1 倾斜已造成建筑物结构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《建筑地基基础设计规范》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。

9.1.3 地基加固或纠倾前应收集下列资料：

- 1 既有建筑物或设备基础原设计图及施工验收资料、改造或改建资料；
- 2 原岩土勘察资料；
- 3 地下管网设施布置图。

9.1.4 地基加固或纠倾前应进行专项鉴定，并应符合下列规定：

- 1 查明上部建筑结构形式及受损破坏情况，基础类型、埋置深度及受损破坏情况；
- 2 查明原地基处理方法、参数及施工质量；
- 3 对基础不均匀沉降或倾斜值、建筑的整体倾斜进行观测；

4 检测现状下基础强度等参数，必要时检测上部结构承重构件强度；

5 查明现状下地基土的物理力学指标；

6 对产生不均匀沉降的原因进行分析。

9.1.5 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。

9.1.6 加固或纠倾应采用信息法施工。施工过程中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。

9.1.7 加固或纠倾施工完成后，应对施工质量和加固效果进行检验及评估。

9.1.8 加固或纠倾工程竣工后，应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。

9.2 单液硅化法和碱液加固法

9.2.1 单液硅化法和碱液加固法可用于加固地下水位以上、渗透性较好的湿陷性黄土地基，酸性土和已渗入沥青、油脂及石油化合物的黄土地基不宜采用。在自重湿陷性黄土场地，采用碱液加固法应通过现场试验确定其可行性。

9.2.2 采用单液硅化法或碱液法加固湿陷性黄土地基，施工前应在拟加固建筑场地或附近同类地层中进行单孔或多孔灌注试验，以确定该方法的适用性及灌注溶液的速度、时间、数量和压力等参数。

9.2.3 溶液灌注试验结束 10d 后，应在试验范围加固深度内量测灌注孔的加固土半径，取土样进行室内试验，多孔试验场地宜结合动力触探或载荷试验等原位测试，测定加固土的压缩性和湿陷性等指标是否满足加固或设计要求。

9.2.4 加固设计应根据灌注试验所获参数进行，并应对加固地层之下的土层进行下卧层验算。

9.2.5 单液硅化法或碱液法加固地基施工结束 10d 后，应对已

加固的地基土进行检查、检验，并应符合下列规定：

1 检查施工记录，各灌注孔的加固深度应符合设计要求，注入土中的溶液量与设计计算量应相同或接近；

2 宜采用动力触探、钻探取样、现场载荷试验等原位测试方法或其他有效检测方法对已加固地基进行全深度加固效果检验，对加固效果进行评价。

I 单液硅化法

9.2.6 选择单液硅化法灌注工艺应符合下列规定：

1 压力灌注宜用于加固非自重湿陷性黄土场地上的建筑物地基和设备基础，用于自重湿陷性黄土场地上加固时应通过试验验证可行性；

2 溶液自渗宜用于加固自重湿陷性黄土场地上既有建筑物和设备基础的地基。

9.2.7 单液硅化法溶液应由浓度为 10%~15% 的硅酸钠溶液掺入 2.5% 的氯化钠组成，相对密度宜为 1.13~1.15，且不应小于 1.10；模数值宜为 2.50~3.30，且杂质含量不应大于 2%。

9.2.8 初步设计时加固湿陷性黄土的单孔溶液用量，可按下式计算：

$$Q = \pi r^2 h \bar{n} d_n \alpha \quad (9.2.8)$$

式中：Q——单孔硅酸钠溶液的设计注入量 (t)；

r ——溶液的设计扩散半径 (m)；

h ——自基础底面起算的加固深度 (m)；

\bar{n} ——拟加固地基土的平均孔隙率；

d_n ——硅酸钠溶液的密度 (t/m^3)；

α ——溶液灌注系数，由单孔或多孔灌注试验确定。无经验时，可取 0.6~0.8。

9.2.9 单液硅化法加固湿陷性黄土地基时，灌注孔的布置应符合下列规定：

1 灌注孔间距应根据设计加固要求、灌注孔的设计扩散半

径和灌注工艺以及试验结果等综合确定，压力灌注时宜为 0.8m~1.2m；溶液自渗时宜为 0.4m~0.6m；

2 灌注孔宜沿基础侧面布置，且每侧不宜少于 2 排。

9.2.10 压力灌注溶液施工应符合下列规定：

1 应先灌注外排孔，再依次灌注内排孔；

2 灌注溶液的压力大小应通过试验确定，灌注压力宜由小逐渐增大，但最大压力不宜超过 200kPa；

3 拟加固地层深度范围内各层土性质差别较大时，宜分层灌注。

9.2.11 溶液自渗施工应符合下列规定：

1 灌注溶液过程中溶液面宜高出基础底面 0.50m 以上；

2 灌注施工过程中应及时观测溶液面高度变化，注入溶液速度宜和溶液自渗速度一致；

3 除建筑物或设备基础沉降突然增大或发生其他异常情况外，施工过程中应避免孔内溶液渗干，宜每隔 2h~3h 向孔内添加一次溶液。

9.2.12 加固施工应进行沉降观测，当发现基础的沉降突然增大或出现异常情况时，应立即停止溶液灌注，待查明原因并确认安全后，方可继续灌注。

II 碱液加固法

9.2.13 碱液加固法分单液法和双液法两种，单液法为氢氧化钠一种溶液注入，双液法为氢氧化钠和氯化钙两种溶液轮流注入。当土中可溶性和交换性的钙、镁离子含量大于 $10\text{mg} \cdot \text{eq}/100\text{g}$ 干土时，可采用单液法。

9.2.14 碱液法加固地基的深度，不宜大于既有建筑物或设备基础底面下 5m。当湿陷性黄土层深度和基础宽度较大、基底压力较高且地基湿陷等级为 II 级以上时，加固深度应通过试验确定。初步设计时，加固地基的厚度可按下式估算：

$$h = l + r - \Delta \quad (9.2.14)$$

式中： h ——碱液法加固地基的厚度（m）；

l ——灌注孔的长度（m）；

r ——溶液的设计扩散半径（m），初步设计时可取
0.4m~0.5m；

Δ ——灌浆孔顶部不能形成满足设计扩散半径部分的长度，可取0.4m~0.6m。

9.2.15 碱液可用固体烧碱或液体烧碱配制，并应符合下列规定：

1 碱液浓度宜为100g/L，采用双液加固时，氯化钙溶液的浓度宜为50 g/L~80g/L；

2 灌注液中氢氧化钠含量不宜小于85%，碳酸钠含量不得超过5%，不溶于水的杂质含量不应超过2%。

9.2.16 加固需要的氢氧化钠量宜通过试验确定。无试验资料时，可取干土重量的3%；初步设计时，单孔碱溶液用量可按下列下式计算：

$$Q = \pi r^2 (l + r) \bar{n} \alpha \quad (9.2.16)$$

式中： Q ——单孔氢氧化钠溶液的设计注入量（ m^3 ）；

r ——溶液的设计扩散半径（m）；

l ——灌注孔的长度（m）；

\bar{n} ——拟加固地基土的平均孔隙率；

α ——溶液灌注系数，由单孔或多孔灌注试验确定。进行试验孔计算时可取0.7~0.9。

9.2.17 碱液法加固湿陷性黄土地基时，灌注孔的布置应符合下列规定：

1 灌注孔间距应根据设计加固要求及灌注试验结果等综合确定。加固土体连片时孔间距不应大于1.8 d ，最大孔间距不宜大于3 d （ d 为灌注孔直径）。

2 灌注孔宜沿基础周围或条形基础两侧成排布置。

9.2.18 碱液法加固湿陷性黄土地基施工，应符合下列规定：

1 宜将碱液加热至80℃~100℃再注入土中；

- 2 灌注溶液过程中溶液面宜高出基础底面 0.40m 以上；
- 3 溶液灌注速度宜为 0.4L/min~0.5L/min，灌注速度过大或过小时均应停止灌注，查明原因并应采取应对措施后方可继续施工。

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物和设备基础的加固，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勘察成果、现场测试、试验性施工的结果并结合当地工程经验确定。

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。

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 旋喷桩复合地基承载力特征值应通过现场复合地基浸水载荷试验确定，初步设计时可按下列公式估算：

$$f_{\text{spk}} = \lambda m \frac{R_a}{A_p} + \beta(1 - m)f_{\text{sk}} \quad (9.3.3-1)$$

$$m = \frac{\sum A_p}{\sum A} \quad (9.3.3-2)$$

式中： f_{spk} ——复合地基承载力特征值（kPa）；

λ ——单桩承载力发挥系数；

m ——面积置换率；

R_a ——单桩竖向承载力特征值（kN）；

A_p —— 桩的截面积 (m^2);

β —— 桩间土承载力折减系数, 宜按地区经验取值, 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;

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

ΣA_p —— 基础下旋喷桩截面积之和 (m^2);

ΣA —— 需加固的基础总面积 (m^2)。

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

$$R_a = \eta f_{cu} A_p \quad (9.3.3-3)$$

$$R_a = \mu_p \sum_{i=1}^n q_{si} l_i + \alpha_p q_p A_p \quad (9.3.3-4)$$

式中: R_a —— 单桩竖向承载力特征值 (kN);

f_{cu} —— 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);

η —— 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;

n —— 桩身长度范围内的土层层数;

μ_p —— 桩身周长 (m);

l_i —— 桩长范围内第 i 层土的厚度 (m);

q_{si} —— 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本标准第 5.7.6 条取值;

α_p —— 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;

q_p —— 桩端地基土承载力特征值 (kPa)。

9.3.4 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, 外加剂和掺合料用量应通过试验确定。

9.3.5 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。施工顺序在平面上应均匀、对称，不应在一个区域集中施工。

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 20MPa~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，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。

9.3.6 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、低应变桩身检测、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过程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。

9.4 坑式静压桩托换法

9.4.1 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，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。

9.4.2 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 159mm，壁厚不得小于 6mm。

9.4.3 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 0.30m。终止压桩力应大于或等于 2 倍的设计承载力特征值。

9.4.4 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。

9.4.5 托换钢管安放结束后，托换坑应及时回填，并应符合下列规定：

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 0.93，或用素混凝土回填；

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。

9.4.6 坑式静压桩的质量检验，应符合下列规定：

1 桩材试块强度应符合设计要求。现场制桩时，应符合现行行业标准《建筑桩基技术规范》JGJ 94 的相关规定。

2 检查压桩施工记录，最终压桩力应符合设计要求。

9.5 纠 倾

9.5.1 建筑物实施纠倾前应对纠倾的可行性、适宜性进行评价。

9.5.2 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。

9.5.3 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，干法纠倾应包括横向或竖向掏土法、加压法和顶升法等。

9.5.4 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。

9.5.5 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。

9.5.6 上部结构的自重较小或局部变形大，且需要使既有建筑物恢复到正常或接近正常位置时，宜采用顶升法纠倾。

9.5.7 既有建筑物的倾斜较大，采用一种纠倾方法不易达到要求时，可将几种纠倾方法结合使用。

9.5.8 下列情况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。

9.5.9 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。

9.5.10 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 $4\text{mm/d}\sim 10\text{mm/d}$ ，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 。

9.5.11 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 $1/10\sim 1/12$ 。

9.5.12 纠倾全过程中应进行现场监测。并根据监测结果，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。

9.5.13 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。

10 使用与维护

10.1 一般规定

10.1.1 建筑物及管道设施使用期间应定期检查和维修，并应做好记录。

10.1.2 管理单位应存留完整的建设技术资料档案，包括岩土勘察报告、设计及变更文件、检验检测报告及其他竣工资料等。使用期间建筑物、附属设施和管道的改建、加固、维修等资料应一并归档。

10.1.3 管理单位应制定维护管理制度和实施细则，并负责实施。

10.1.4 既有建筑物的防护范围内增添或改变用水设施时，应按本标准第5章的规定采取相应的防水措施或其他措施。

10.1.5 建筑物周边水环境发生改变，可能引起建筑物地基浸水或地下水位变化时，管理单位应收集有关资料，并宜会同原设计单位对建筑物的影响做出评估，根据评估结果采取相应措施。

10.2 维护与检修

10.2.1 使用期间，给水、排水和供热管道系统应定期进行维护，保持其畅通。并应符合下列规定：

1 发现漏水或故障，应及时断绝水源、汽源，故障排除后方可继续使用。

2 每隔（3~5）年，宜对埋地压力管道进行工作压力下的泄压检查，对埋地自流管道进行常压泄漏检查。发现泄漏，应及时检修。

10.2.2 检漏设施和防水套管应定期检查。采用严格防水措施的建筑，宜每周检查1次，其他建筑宜每半个月检查1次。发现有

积水或堵塞物，应及时修复和清除，并作记录。

10.2.3 防护范围内的防水措施应经常检查，并应符合下列规定：

1 防水地面、排水沟和雨水明沟应经常检查，发现裂缝及时修补。每年应全面检修1次。

2 散水的伸缩缝和散水与外墙交接处的填塞材料应经常检查和填补。散水发生倒坡时，应及时修补并应调整至原设计坡度。

3 建筑场地应保持原设计的排水坡度，发现积水地段，应及时填平夯实。

4 建筑物周围6m以内的地面应保持排水畅通，不得堆放阻碍排水的物品和垃圾，严禁绿化过量浇水。

10.2.4 每年雨季前和每次暴雨后，对防洪沟、缓洪调节池、排水沟、雨水明沟及雨水收集口等，应进行详细检查，清除淤积物，整理沟堤，保持排水畅通。

10.2.5 每年入冬以前，应对可能冻裂的水管采取保温措施。并应对所有管道进行系统检查，管沟或管道的过缝、过门处应重点检查。

10.2.6 当发现建筑物突然下沉，墙、梁、柱或楼板、地面出现裂缝时，应立即检查附近的供热管道、水管和水池、化粪池等。有漏水（汽）时，应迅速断绝水（汽）源，观测建筑物的沉降和裂缝发展情况，记录部位和时间，并应会同有关部门研究处理。

10.3 沉降观测和地下水位观测

10.3.1 管理单位在接管沉降观测和地下水位观测工作时，应根据设计文件、施工资料及移交清单，对水准基点、观测点、观测井及观测资料和记录，逐项检查、清点和验收。有水准基点或观测点损坏、不全或观测井填塞等情况时，应由移交单位补齐或清理。

10.3.2 水准基点、沉降观测点及水位观测井应妥善保护。并应

定期根据地区水准控制网对水准基点进行校核。

10.3.3 建筑物的沉降观测应按现行行业标准《建筑变形测量规范》JGJ 8 的规定执行；地下水位观测应按设计要求进行。观测记录应及时整理，并存入工程技术档案。

10.3.4 发现建筑物沉降和地下水位变化出现异常时，应及时反馈给有关单位研究处理。

住房和城乡建设部信息中心
浏览专用

附录 A 各类建筑举例

表 A 各类建筑举例

建筑类别	举 例
甲类	<p>高度大于 60m 的建筑；14 层及 14 层以上的体形复杂的建筑；高度大于 50m 的筒仓；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 或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、中型火力发电站主体建筑；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；净化工房；有剧毒、强传染性病毒或有放射污染的建筑</p>
乙类	<p>高度为 24m~60m 的建筑，高度为 30m~50m 的筒仓；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 或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</p>
丙类	<p>7 层及 7 层以下的多层建筑；高度不超过 30m 的筒仓、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 且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</p>
丁类	<p>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 2.5、总高度小于 5m 的门房；浸水可能性小的光伏电站光伏阵列区</p>

附录 C 黄土地层的划分

表 C 黄土地层的划分

时代		地层划分	说明
全新世 (Q ₄) 黄土	晚期 (Q ₄ ²)	新黄土	一般具湿陷性
	早期 (Q ₄ ¹)		
晚更新世 (Q ₃) 黄土			
中更新世 (Q ₂) 黄土		老黄土	上部部分土层具湿陷性
早更新世 (Q ₁) 黄土			午城黄土

附录 D 新近堆积黄土的判别

D.0.1 现场鉴定新近堆积黄土，应符合下列规定：

1 堆积环境：黄土塬、梁、峁的坡脚和斜坡后缘；冲沟两侧及沟口处的洪积扇和山前坡积地带；河道拐弯处的内侧，河漫滩及低阶地；山间或黄土梁、峁之间凹地的表层；平原上被淹埋的池沼洼地。

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。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；有时混钙质结核，呈零星分布。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。

D.0.2 现场鉴别不明确时，可按下列试验指标判定：

1 在 (50~150)kPa 压力段变形较大，小压力下具高压缩性。

2 利用下列判别式判定

$$R = -68.45e + 10.98a - 7.16\gamma + 1.18\omega \quad (\text{D.0.2-1})$$

$$R_0 = -154.80 \quad (\text{D.0.2-2})$$

当 $R > R_0$ 时，可将该土判定为新近堆积黄土。

式中： e ——土的孔隙比；

a ——压缩系数 (MPa^{-1})，宜取 (50~150)kPa 或 (0~100)kPa 压力下的大值；

γ ——土的重度 (kN/m^3)；

ω ——土的天然含水量 (%)。

附录 E 钻孔内采取不扰动土样的操作要点

E.0.1 在钻孔内采取不扰动土样，应熟练掌握钻进和取样方法，使用合适的清孔器，并应符合下列操作要点：

1 宜采用回转钻进和使用螺旋（纹）钻头，控制回次进尺的深度，并根据土质情况，控制钻头的垂直进入速度和旋转速度。取土间距为 1m 时，第一钻进尺应为 50mm~60mm，第二钻清孔进尺 20mm~30mm，第三钻取原状土试样。当取土间距大于 1m 时，其下部 1m 深度内仍应按取土间距为 1m 时的方法操作。

对坚硬黄土，冲击钻进时，应使用专用的薄壁钻头（其规格为：直径不小于 140mm，壁厚不大于 3mm，刃口角度不大于 $10^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ）。并应采取分段进尺、逐次缩减、最后清孔的钻进程序，每段进尺应小于回转钻进要求的进尺深度。

2 清孔时，不应加压或少许加压，慢速钻进，应使用薄壁取样器压入清孔，不得用小钻头钻进，大钻头清孔。

对坚硬黄土，冲击钻进清孔时，应使用薄壁钻头或薄壁取土器一次击入，击入深度为 120mm~150mm，严禁多次击入。

E.0.2 取样应采用“压入法”。取样前应将取土器轻轻吊放至孔内预定深度处，然后以匀速连续压入，中途不得停顿。在压入过程中，钻杆应保持垂直不摇摆，压入深度以土样超过盛土段 30mm~50mm 为宜。当使用有内衬的取样器时，其内衬应与取样器内壁紧贴（塑料或酚醛压管）。

对坚硬黄土，有经验时也可采用击入法取样，击入时应根据击入阻力大小，预估击入能量，使整个取样过程在一击下完成，不得进行二次锤击。击入深度以超过盛土段 30mm~50mm 为宜。

E.0.3 取样器宜使用带内衬的黄土薄壁取样器，对结构较松散的黄土，不应使用无内衬的黄土薄壁取样器。黄土薄壁取样器内径不宜小于 120mm，刃口壁的厚度不宜大于 3mm，刃口角度为 $10^{\circ}\sim 12^{\circ}$ ，控制面积比为 $12\%\sim 15\%$ 。其尺寸规格可按表 E.0.3 采用，构造可按图 E.0.3 采用。

表 E.0.3 黄土薄壁取样器的尺寸

外径 (mm)	刃口内径 (mm)	放置内衬 后内径 (mm)	盛土筒长 (mm)	盛土筒厚 (mm)	余(废) 土筒长 (mm)	面积比 (%)	切削刃 口角度 ($^{\circ}$)
<129	120	122	150, 200	2.00~2.50	200	<15	12

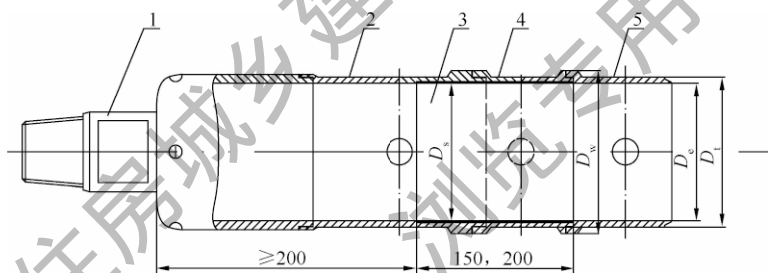


图 E.0.3 黄土薄壁取样器示意

1—导径接头；2—废土筒；3—衬管；4—取样管；5—刃口
 D_s —衬管内径； D_w —取样管外径； D_e —刃口内径； D_t —刃口外径

E.0.4 钻进和取土样应符合下列规定：

- 1 严禁向钻孔内注水；
- 2 在卸土过程中，不得敲打取土器；
- 3 土样取出后，应检查土样质量，土样有受压、扰动、碎裂和变形等情况时，应将其废弃并重新采取土样；
- 4 应经常检查钻头、取土器的完好情况，当发现钻头、取土器有变形、刃口缺损时，应及时校正或更换；

- 5 冬期施工时土样取出后应采取防冻融措施；
- 6 对探井内和钻孔内的取样结果，应进行对比、检查，发现问题及时改进；
- 7 土样在运输的过程中应采取防止振动破坏措施，结构敏感、含粉土颗粒较大的黄土宜就地进行土工试验。

住房城乡建设部信息公开
浏览专用

附录 F 未消除全部湿陷量的地基地下水 水位上升时的设计措施

F.0.1 对未消除全部湿陷量的地基，应根据地下水位可能上升的幅度，采取防止不均匀沉降的有效措施。

F.0.2 建筑物的平面、立面布置，应力求简单、规则。体形复杂时，宜将建筑物分成若干简单、规则的单元。单元之间宜拉开一定距离，设置能适应沉降的连接体或采取其他措施。

F.0.3 多层砌体承重结构房屋，应有较大的刚度，房屋的单元长高比不宜大于 3。

F.0.4 在同一单元内，各基础的荷载、形式、尺寸和埋深应尽量接近。当门廊等附属建筑与主体建筑的荷载相差悬殊时，应采取有效措施，减少主体建筑下沉对门廊等附属建筑的影响。

F.0.5 在建筑物的同一单元内，不宜设置局部地下室。对有地下室的单元，应用沉降缝将其与相邻单元分开。

F.0.6 宜通过加大建筑物沉降缝两侧基础面积、调整上部结构布置等措施减小沉降缝处的基底压力。

F.0.7 建筑物基础附近有重物或重型设备时，应采取隔离、对设备基础地基进行处理、加固建筑物基础等措施，减小附加沉降对建筑物的影响。

F.0.8 对地下室和地下管沟，应根据地下水位上升的可能幅度采取防水措施。水位可能上升至基础底面标高以上时，地下管沟材料宜采用抗渗混凝土并应增设柔性防水层。

F.0.9 在非自重湿陷性黄土地，有大面积填方时，应根据填方厚度、地下水位可能上升的幅度，判断场地转化为自重湿陷性黄土地的可能性。可能性大时，应按自重湿陷性黄土地进行设计。

附录 G 单桩竖向静载荷浸水试验要点

G.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。

G.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）：仅测定桩周土饱和状态下的单桩竖向承载力时，不宜小于 5m；测定桩侧负摩阻力和中性点深度时，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 100mm～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。

G.0.3 单桩竖向承载力静载荷浸水试验方法，可选择先湿法或后湿法。

G.0.4 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。过程中应记录桩顶沉降量，记录间隔时间不宜大于 6h。

2 桩周湿陷性黄土层达到饱和，且桩顶沉降稳定后，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。

G.0.5 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，记录间隔时间不宜大于 6h。

3 桩周湿陷性黄土层达到饱和，且桩顶附加沉降稳定后，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。

G.0.6 桩侧负摩阻力和中性点深度测试，应符合下列规定：

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 预估的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，桩身内力测试元件宜加密埋设，或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变化后，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。

G.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《建筑地基基础设计规范》GB 50007 的有关规定。桩顶附加沉降量的观测精度不应低于 0.1mm。

附录 H 复合地基浸水载荷试验要点

H.0.1 本试验要点适用于采用单桩和多桩复合地基浸水载荷试验确定复合地基在饱和状态下的承载力及湿陷变形参数。

H.0.2 承压板的选择应符合下列规定：

1 承压板应具有足够刚度。

2 单桩复合地基载荷试验的承压板可用圆形或方形，面积为一根桩承担的处理面积。桩孔按正三角形布置时，圆形承压板直径(d)应为桩距的 1.05 倍；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，尺寸应按承压板下的实际桩数确定。

H.0.3 浸水试坑开挖和载荷试验设备安装，应符合下列规定：

1 浸水试坑底面的直径或边长，不应小于处理厚度的一半及承压板直径或边长的 3 倍，且不应小于 5m。

2 试坑底面标高宜与拟建的建筑物基底标高相同或接近。

3 应保持试验土层的原状结构。

4 试坑内桩间土宜打设浸水孔，最大深度应根据剩余湿陷量及未处理土层厚度确定，且不应小于增强体底端深度。孔内用砾砂或粗砂填充。承压板底面下应铺 100mm~150mm 厚度的中、粗砂找平。

5 基准梁的支点，应设在浸水影响及承压板应力影响范围之外，并不应小于压板直径或边长的 3 倍。

6 承压板的形心与荷载作用点应重合。

H.0.4 宜在土层天然含水量下加至 1 倍设计荷载，下沉稳定后向试坑内连续浸水，连续浸水时间在桩间土达到饱和后不宜少于 5d。坑内水头不应小于 200mm。仅需判定复合地基湿陷性时，

可不再增加荷载。需要判定承载力时，宜再加 1 倍设计荷载。

H. 0.5 加荷等级不宜少于 10 级，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 0.5h 测记 1 次，当连续 2.0h 内，每 1.0h 的下沉量小于 0.10mm 时，即可加下一级荷载。每级荷载的维持时间不应少于 2.0h。

H. 0.6 出现下列情况之一时，可终止加载：

- 1 沉降急剧增大，承压板周围的土出现明显的侧向挤出；
- 2 浸水条件下附加下沉稳定后继续加载，在某一级荷载下，24h 内沉降速率不能达到稳定标准，或沉降 s 急骤增大，压力-沉降 ($p-s$) 曲线出现陡降段；
- 3 s/b (或 s/d) ≥ 0.06 ；
- 4 仅需判定复合地基湿陷性时，设计荷载下浸水后，附加下沉达到稳定标准或连续 5d 达不到稳定标准 (从浸水开始计算)；
- 5 已加载至设计荷载的 2 倍。

当满足前 2 种情况之一时，其对应的前一级荷载可定为极限荷载。

H. 0.7 卸荷可分为 3 级~4 级，每卸一级荷载测记回弹量，直至变形稳定。

H. 0.8 复合地基湿陷性判定和承载力特征值，应根据压力 (p) 与承压板沉降量 (s) 的 $p-s$ 曲线形态确定：

- 1 复合地基浸水相对沉降应按下式计算：

$$\xi = \frac{s_2 - s_1}{d} \quad (\text{H. 0.8})$$

式中： ξ ——复合地基浸水相对沉降；

s_1 ——加至 1 倍设计荷载沉降稳定，浸水前承压板沉降量 (mm)；

s_2 ——维持 1 倍设计荷载浸水，沉降稳定后承压板沉降量 (mm)；

d ——承压板直径 (mm)，承压板为矩形时取短边长度 b (mm)。

当 $\xi < 0.017$ 时，判定复合地基不具湿陷性。

2 复合地基承载力特征值判定应符合下列规定：

- 1) 当极限荷载能确定，取极限荷载的一半；
- 2) 按相对变形确定：土挤密桩复合地基，可取 s/d 或 $s/b = 0.010$ 所对应的压力；灰土挤密桩、夯实水泥土桩、水泥土搅拌桩复合地基可取 s/d 或 $s/b = 0.008$ 所对应的压力；水泥粉煤灰碎石桩、素混凝土桩复合地基，可取 s/d 或 $s/b = 0.010$ 所对应的压力；
- 3) 压板边长或直径大于 2000mm 时， b 或 d 按 2000mm 计算；
- 4) 按相对变形确定的地基承载力特征值，不应大于最大加载压力的一半。

附录 J 垫层、强夯和挤密 地基载荷试验要点

J.0.1 现场采用静载荷试验检测垫层、强夯和挤密等方法处理地基的承载力及变形参数，应符合下列规定：

1 承压板应为刚性，底面宜为圆形或方形。

2 对土或灰土垫层，承压板的面积应按需检验土层的厚度确定，且不应小于 1.0m^2 ；对强夯地基承压板，承压板的面积不应小于 2.0m^2 ，当处理土层厚度较大时，宜分层进行试验。

3 对挤密桩复合地基：

1) 单桩复合地基的承压板面积，应为 1 根挤密桩承担的处理地基面积。桩孔按正三角形布置时，承压板直径 (d) 应为桩距的 1.05 倍，桩孔按正方形布置时，承压板直径应为桩距的 1.13 倍。

2) 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。

3) 对于桩距大于 2.5m 的大直径挤密桩复合地基，承载力检验宜采用单桩复合地基静载荷试验；有经验或对比资料时，也可分别进行单桩竖向抗压静载荷试验和桩间土静载荷试验计算复合地基承载力特征值。单桩静载试验承压板直径应与设计桩直径相同，桩间土的承压板直径不宜小于 0.6m。

J.0.2 试坑开挖和安装载荷试验设备应符合下列规定：

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，宜与拟建的建筑物基底标高相同或接近；

3 应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 10mm~20mm 厚度的中、粗砂找平；
- 5 基准梁的支点，应设在承压板直径或边长的 3 倍范围以外；
- 6 承压板的形心与荷载作用点应重合。

J.0.3 加荷等级不宜少于 10 级，总加载量不应小于设计荷载值的 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 0.5h 测记 1 次，当连续 2.0h 内，每 1.0h 的下沉量小于 0.10mm，即可加下一级荷载。每级荷载的维持时间不应少于 2.0h。

J.0.5 需要测定处理后的地基是否消除湿陷性时，应进行浸水载荷试验。浸水前，宜加至 1 倍设计荷载，下沉稳定后向试坑内连续浸水，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。需判定地基承载力时，可继续浸水，再加 1 倍设计荷载后，试验终止。

J.0.6 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 急骤增大，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 (或 s/d) ≥ 0.06 。

当满足前 3 种情况之一时，其对应的前一级荷载可定为极限荷载。

J.0.7 卸荷可分为 3 级~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) 土挤密桩复合地基,可取 s/d (或 s/b) $=0.010$ 所对应的压力;灰土挤密桩或水泥土挤密桩复合地基,可取 s/d (或 s/b) $=0.008$ 所对应的压力;
- 4) 桩、土分别试验的,桩体材料为灰土时,桩间土承载力可取 s/d (或 s/b) $=0.008$ 所对应的压力;桩体材料为素土时,桩间土承载力可取 s/d (或 s/b) $=0.010$ 所对应的压力;
- 5) 复合地基载荷试验当压板边长或直径大于 2000mm 时, b 或 d 按 2000mm 计算。

按相对变形确定的地基承载力特征值,不应大于最大加载压力的一半;桩、土分别试验时,桩间土承载力取值不宜大于天然地基承载力的 1.5 倍。

J.0.9 试验点的数量不应少于 3 点,当极差不超过平均值的 30% 时,可取其平均值作为地基承载力特征值。当极差超过平均值的 30% 时,应分析原因,并结合工程具体情况综合确定地基承载力特征值,或增加试验点数量。

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

- 1) 表示很严格，非这样做不可的：
正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；
- 2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：
正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；
- 3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：
正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；
- 4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

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

引用标准名录

- 1 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 2 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 3 《给水排水构筑物工程施工及验收规范》GB 50141
- 4 《建筑地基基础工程施工质量验收标准》GB 50202
- 5 《建筑给水排水及采暖工程施工质量验收规范》GB 50242
- 6 《给水排水管道工程施工及验收规范》GB 50268
- 7 《建筑变形测量规范》JGJ 8
- 8 《建筑桩基技术规范》JGJ 94