地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

课程描述

Course Descriptions

选择最近的地基处理理论和实践进展作为主讲内容。

内容包括复合地基理论、振密、挤密、置换、排水、灌入固化物、加筋、地基加固、纠倾、迁移等地基处理。

地 基 处 理

Ground Treatment

教师 *Instructor*

Dr. Wenxi Han **韩文喜**

联系方式

Phone: 13880536952
E-mail: hwx@cdut.edu.cn
david_hi@163.com

本课程必备条件 ***Prerequisites:***

《土力学》
《地基与基础》
《岩土工程施工》

地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

Reference Textbooks: 参考书目

《地基处理》中国建筑工业出版社，2005

《建筑地基处理技术规范 JGJ 79-2002 & 条文说明》

中华人民共和国建设部

Ground Improvement *文献常用*

Ground Treatment *规范用*

地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

在地基处理教学中您将会学到什么？

1.提高您对地基处理理论的理解；

2.拓宽您在地基工作中的视野；

3.提高您处理地基工程问题的能力；

4. …….

您希望在本课程中学到什么？

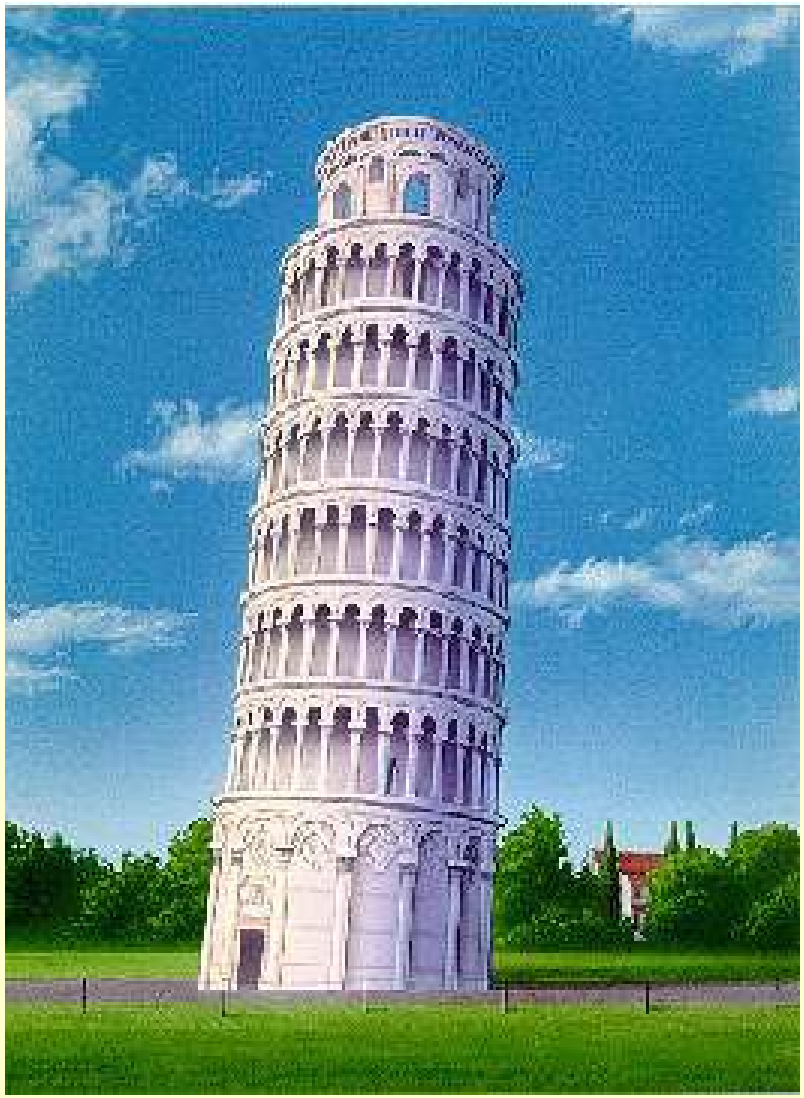
让我们看看将会遇到的地基（或工程）问题…

地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

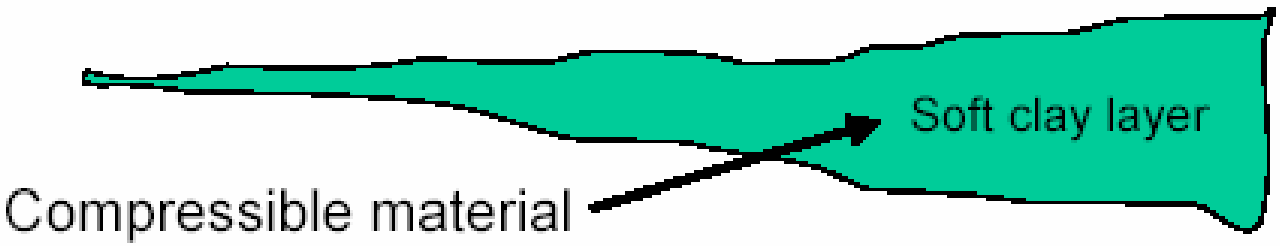
地基问题_破坏



地基问题_破坏 Excessive Settlement

Differential settlement
versus
uniform settlement



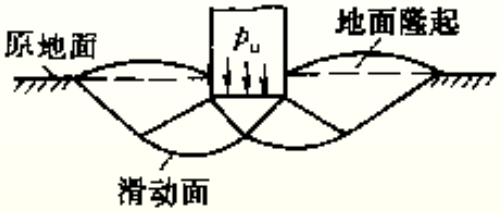


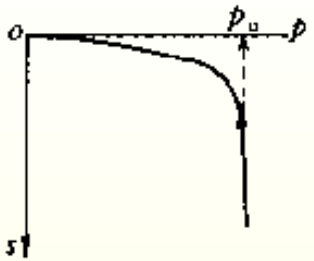
地 基 处 理

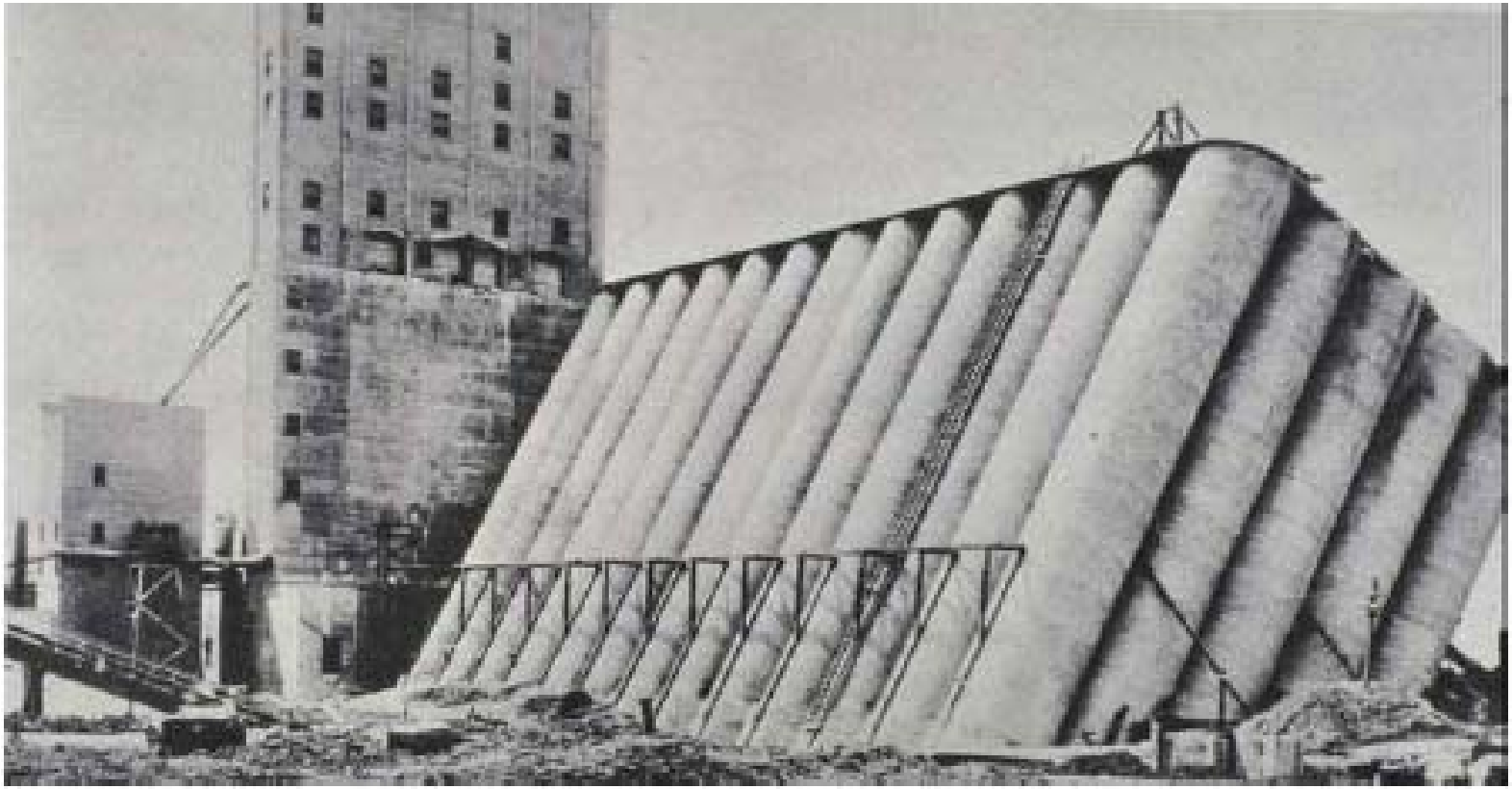
Ground Treatment

Dr. Han WX

地基问题_破坏







地 基 处 理

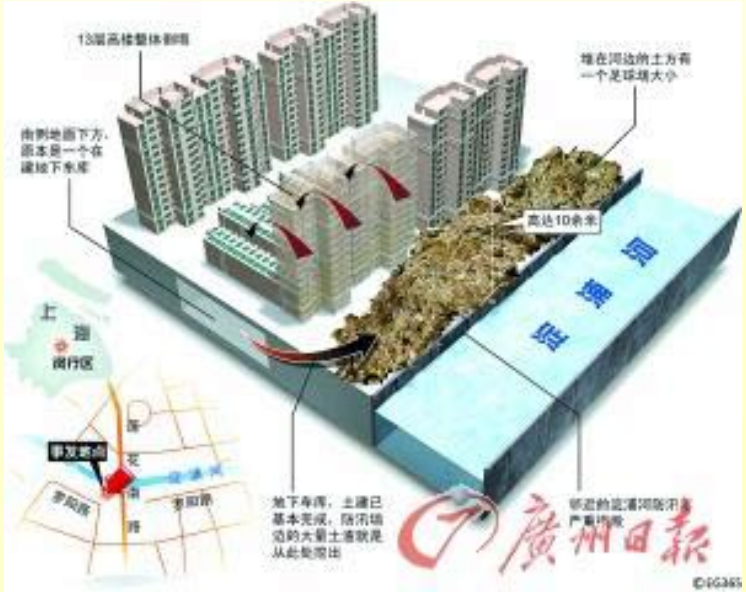
Ground Treatment

Dr. Han WX

地基问题_破坏









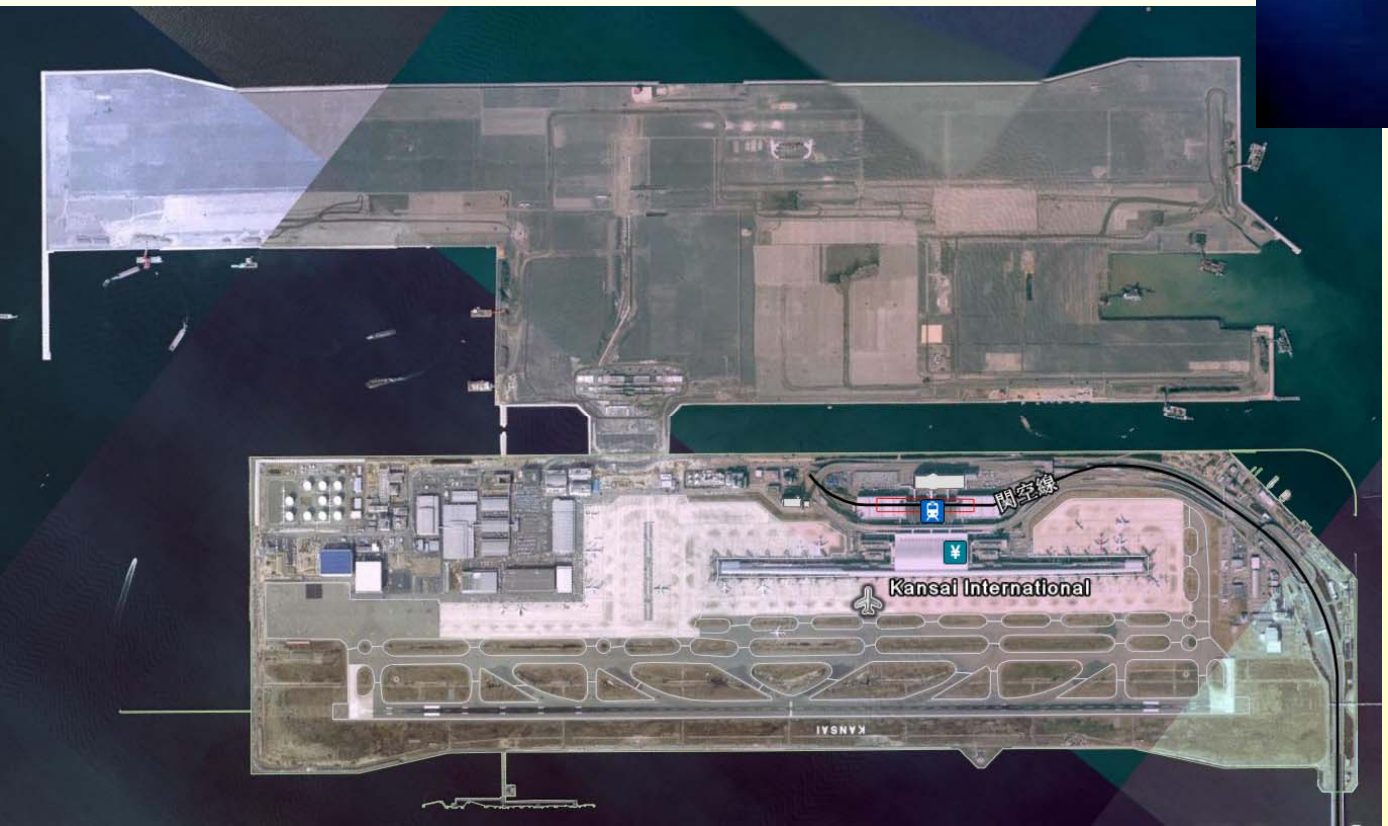
地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

地基问题_挑战





Kansai (关西)

国际机场

大阪海湾,日本

工程问题_挑战

九寨黄龙机场

机场工程条件概述：

高海拔（海拔3430m）、

高地震烈度(地震基本烈度为8.1度)

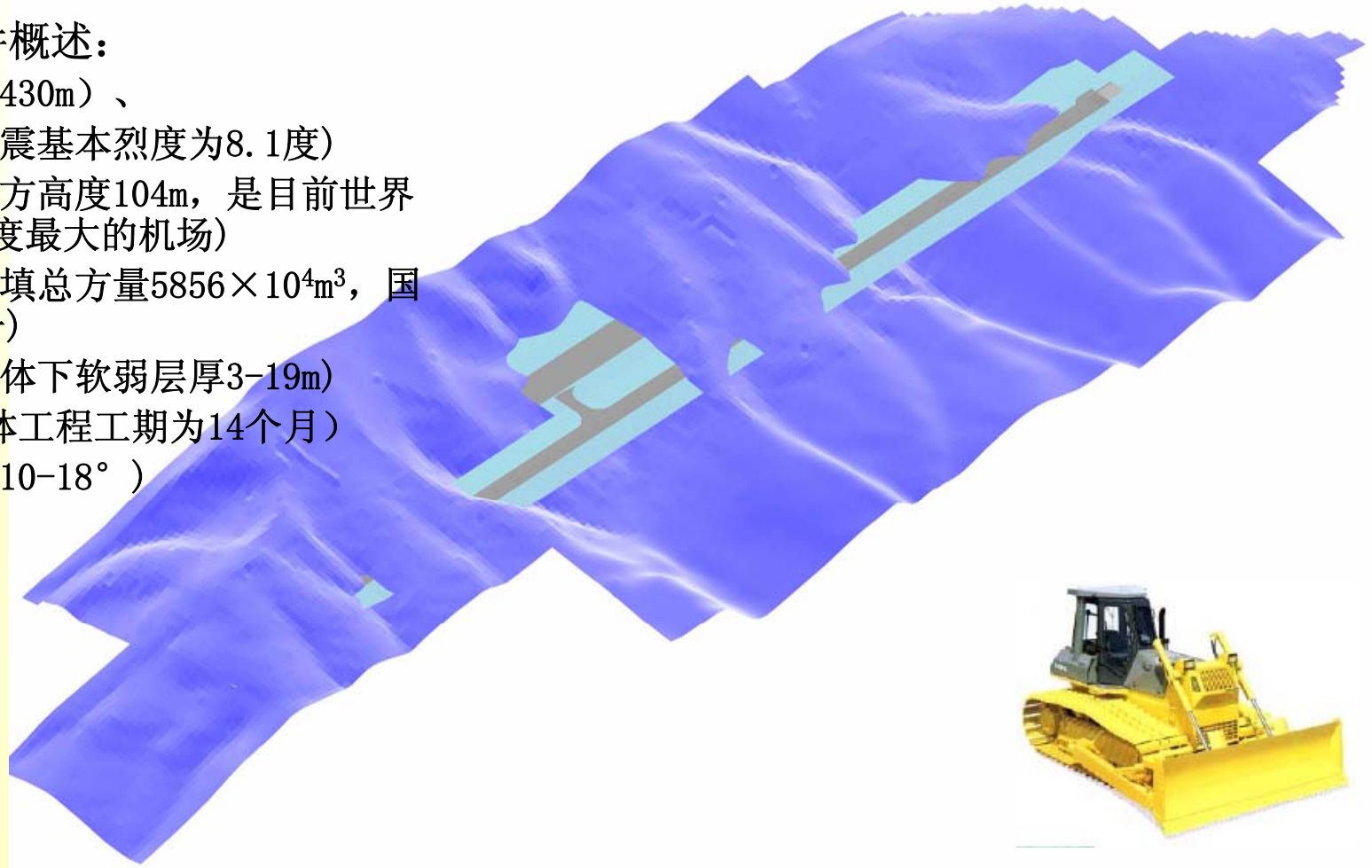
高填方(最大填方高度104m，是目前世界上 填方高度最大的机场)

高土石方量(挖填总方量5856×10^4m^3，国内机场第一)

软弱土层(填筑体下软弱层厚3-19m)

快速加载（主体工程工期为14个月）

顺坡填筑(坡角10-18°)



地 基 处 理

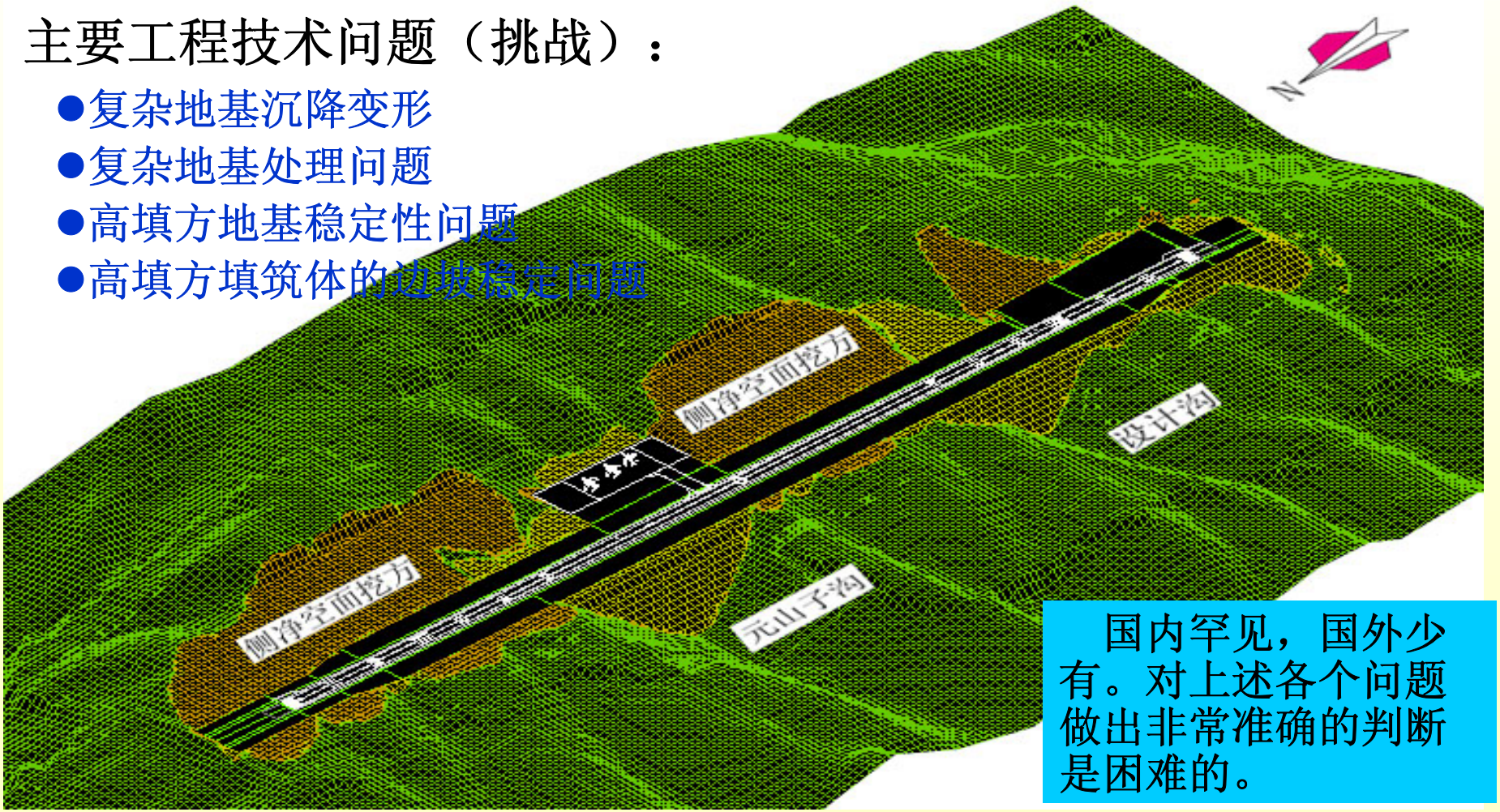
Ground Treatment

Dr. Han WX

地基问题_挑战

主要工程技术问题（挑战）：

- 复杂地基沉降变形
- 复杂地基处理问题
- 高填方地基稳定性问题
- 高填方填筑体的边坡稳定问题



国内罕见，国外少有。对上述各个问题做出非常准确的判断是困难的。

地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

工程问题_挑战

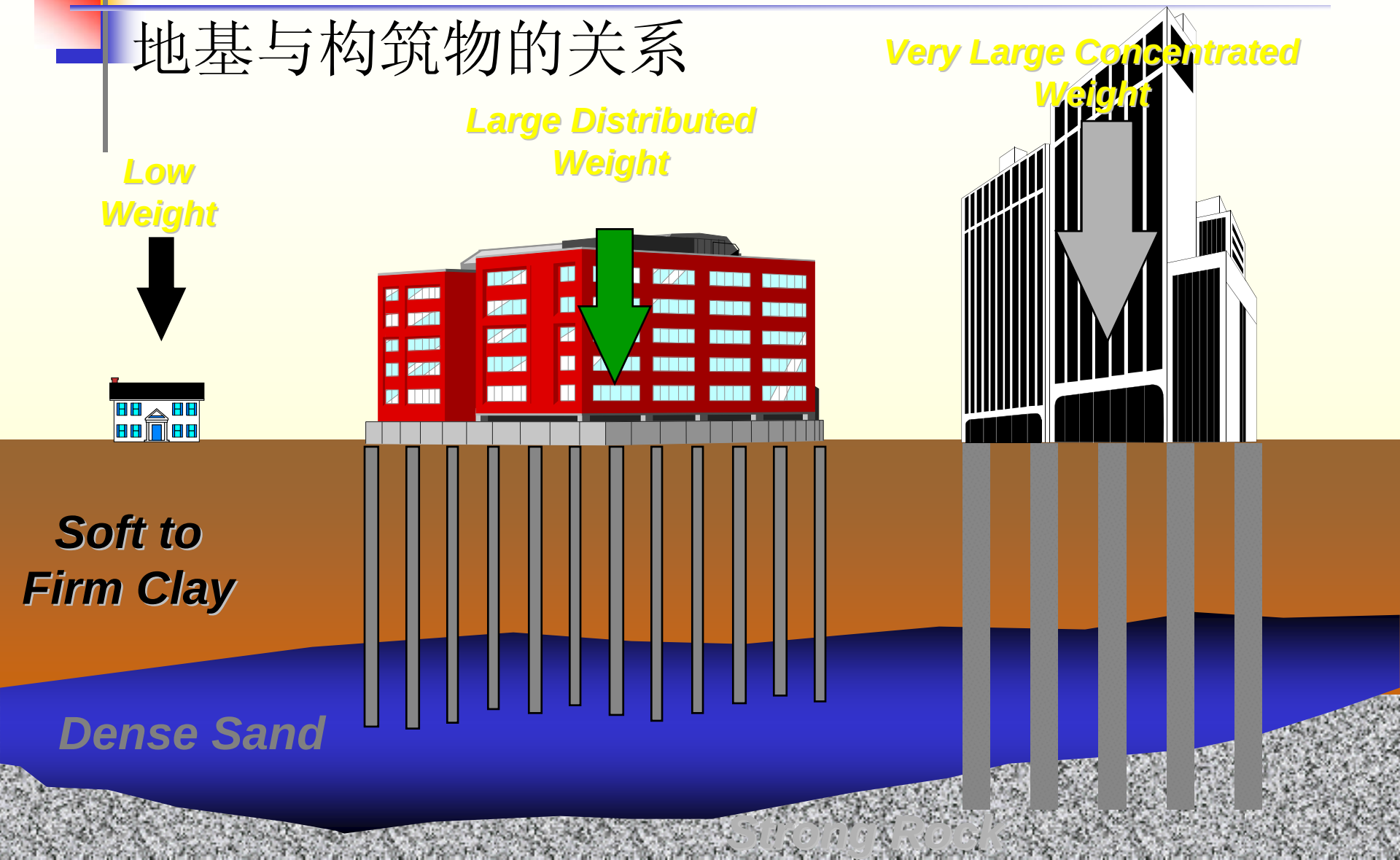


地 基 处 理

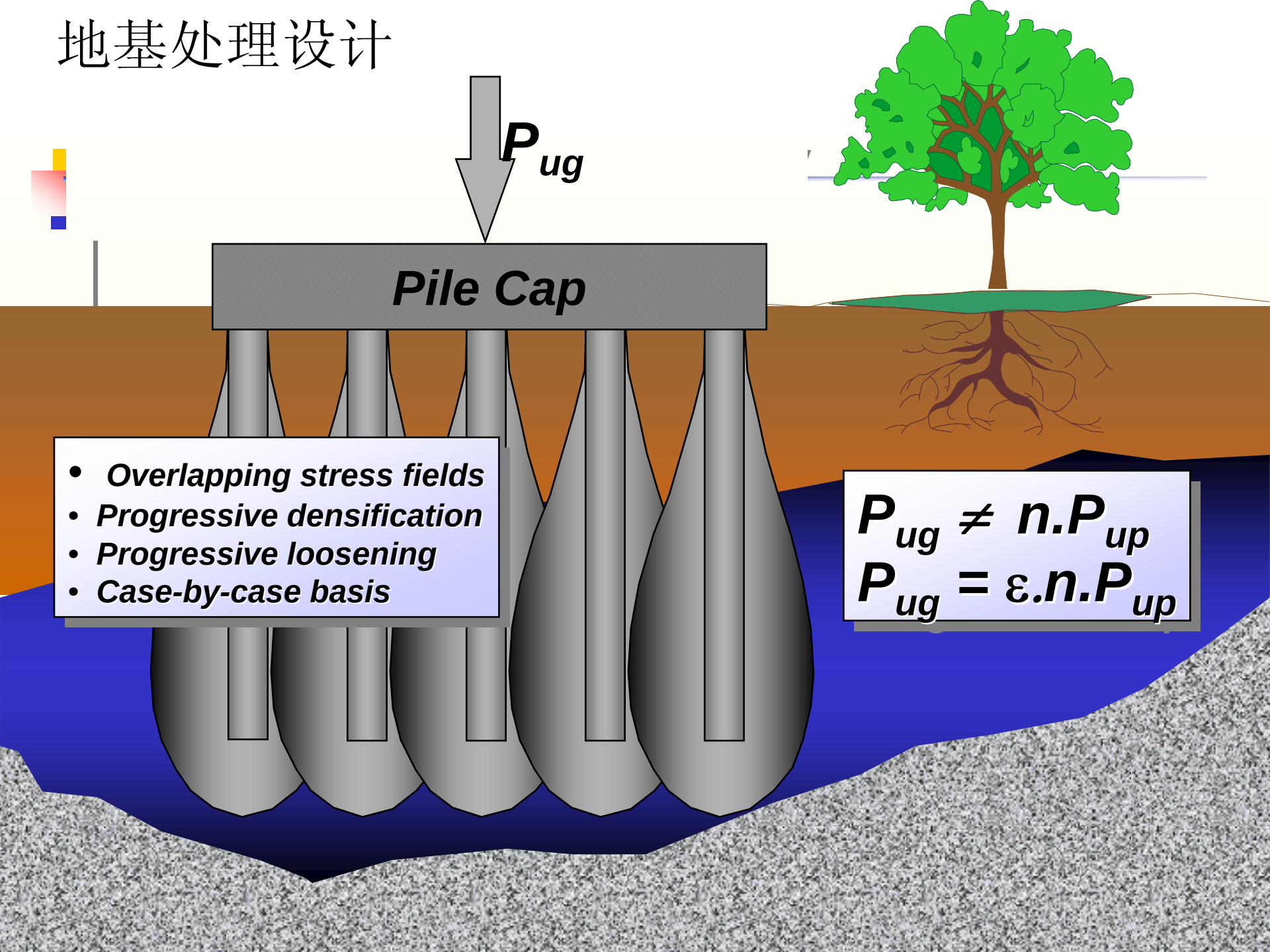
Ground Treatment

Dr. Han WX

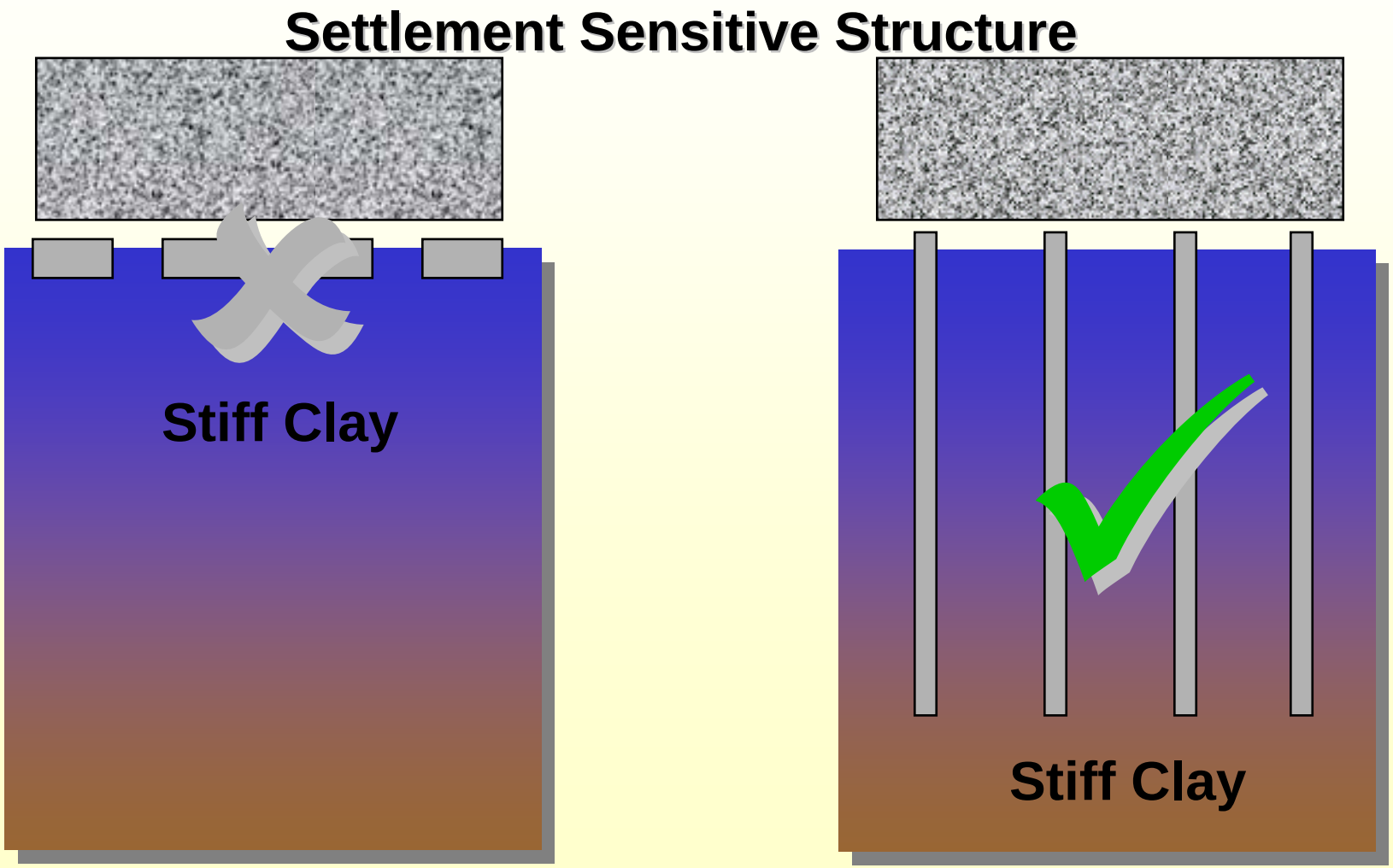
地基与构筑物的关系



地基处理设计


P_{ug}
Pile Cap
• Overlapping stress fields
• Progressive densification
• Progressive loosening
• Case-by-case basis
$P_{ug} \neq n.P_{up}$
$P_{ug} = \varepsilon.n.P_{up}$

Settlement Tolerance

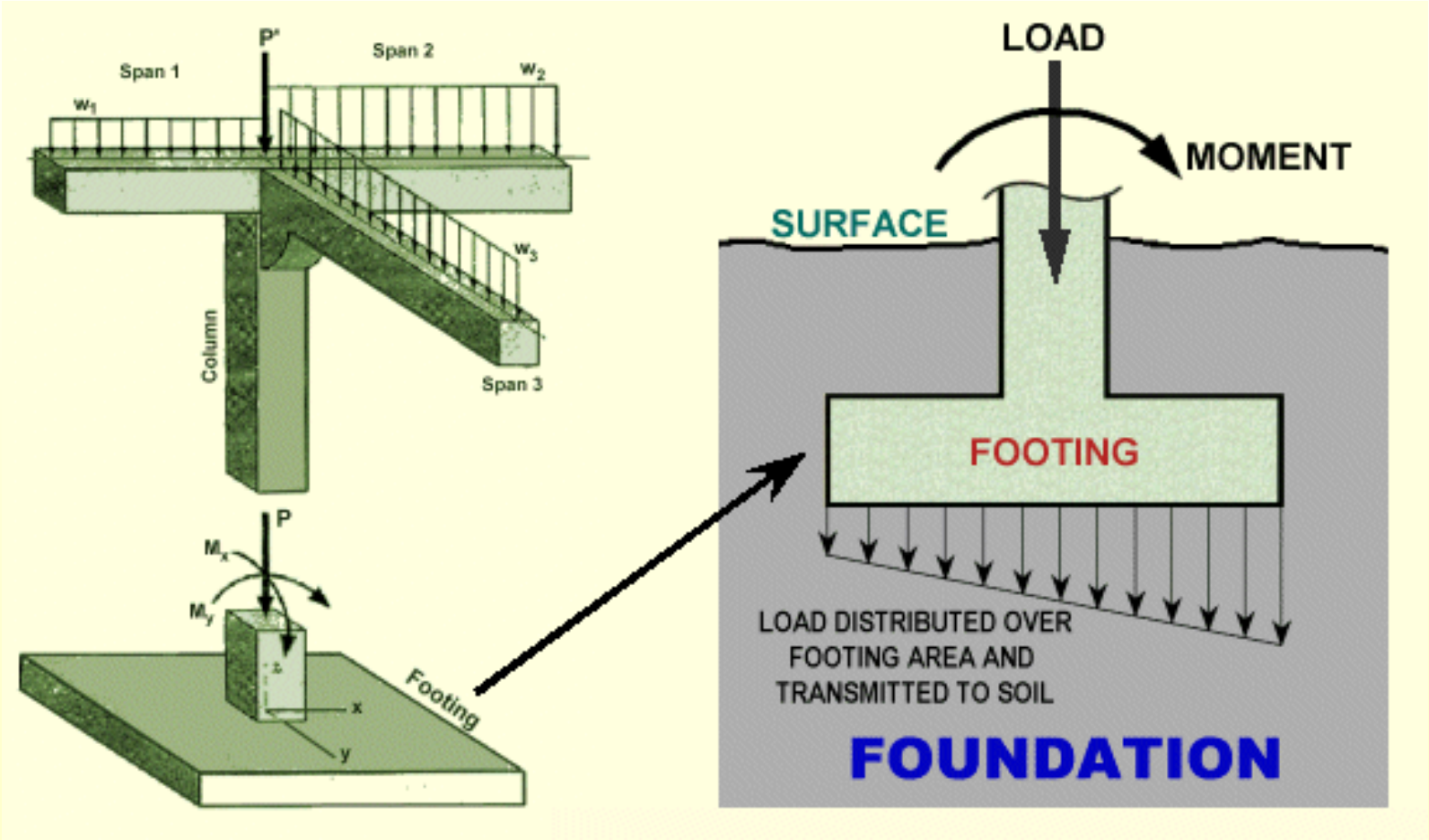


地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

地基处理设计、地基承载力



地 基 处 理

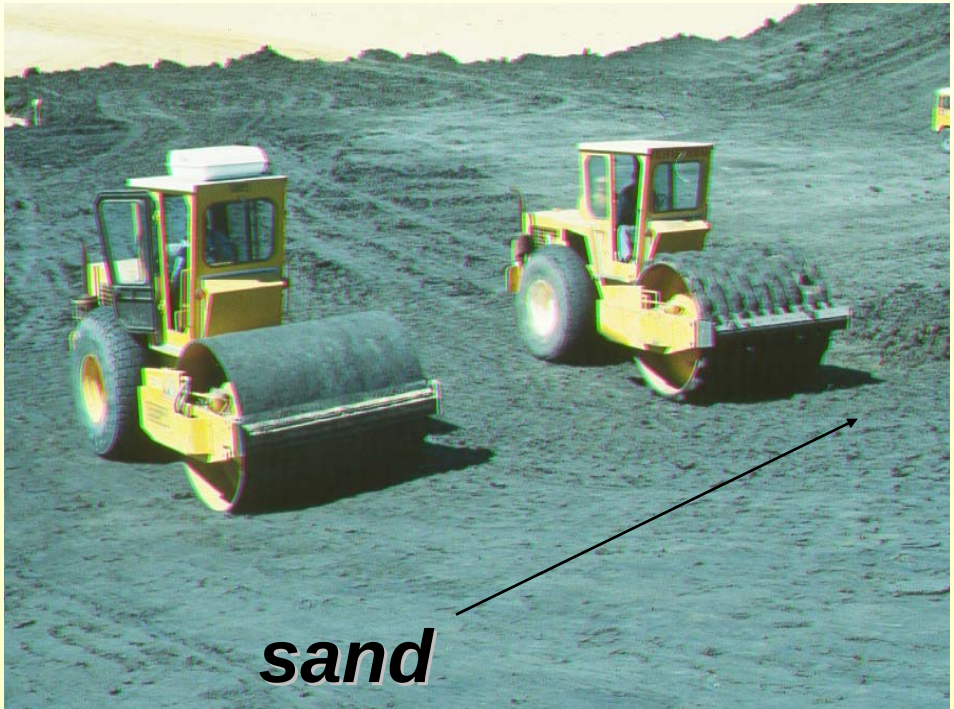
Ground Treatment

Dr. Han WX

地基处理设计、适用性

Compaction Methods and Equipment

Which roller to use?



clay

Impact rollers



地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

中国地基处理问题多、复杂、区域差别大



地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

目 录

1 绪论

2 复合地基理论概要

3 振密、挤密

4 置换

5 排水固结

6 灌入固化物

7 加筋

8 既有建筑物地基加固

9 纠倾和迁移

地 基 处 理

Ground Treatment

Dr. Han WX

第一章　绪论

1.1 地基处理的目的意义

1.2 常见软弱土和不良土

1.3 地基处理技术发展概况

1.4 地基处理方法分类及适用范围

1.5 地基处理方法选用原则和规划程序

1.6 关于地基承载力表达式的说明

总结

思考题

地 基 处 理 Ground Treatment

1.1 地基处理的目的和意义

Dr. Han WX

改革开放促进了我国国民经济的飞速发展，自20世纪90年代以来，我国土木工程建设发展很快。土木工程功能化、城市建设立体化、交通运输高速化，以及改善综合居住条件已成为现代土木工程建设的特征。为了保证工程质量，现代土木工程建设对地基提出了更高的要求。

各种建筑物和构筑物对地基的要求主要包括下述三个方面：

(1) 地基稳定性问题

(2) 地基变形问题

(3) 地基渗透问题

当天然地基不能满足建(构)筑物在上述三个方面的要求时，需要对天然地基进行地基处理。天然地基通过地基处理，形成人工地基，从而满足建(构)筑物对地基的各种要求。

1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

判别天然地基是否属于软弱地基或不良地基没有明确的界限，工程师们常将不能满足建(构)筑物对地基要求的天然地基称为软弱地基或不良地基。天然地基是否属于软弱地基或不良地基也可以说是相对的。

在土木工程建设中经常遇到的软弱土和不良土主要包括：

(1)软粘土

软粘土是软弱粘性土的简称。

它是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖泊相的粘性土沉积物或河流冲积物。有的软粘土属于新近淤积物。

软粘土大部分处于饱和状态，其天然含水量大于液限，孔隙比大于1.0。

当天然孔隙比大于1.5时，称为淤泥；

当天然孔隙比大于1.0而小于1.5时，称为淤泥质土。

软粘土的特点是天然含水量高，天然孔隙比大，抗剪强度低，压缩系数高，渗透系数小。在荷载作用下，软粘土地基承载力低，地基沉降变形大，不均匀沉降也大，而且沉降稳定历时比较长，一般需要几年，甚至几十年。

1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(2) 人工填土

人工填土按照物质组成和堆填方式可以分为素填土、杂填土和冲填土三类

素填土是由碎石、砂或粉土、粘性土等一种或几种组成的填土，其中不含杂质或含杂质较少。若经分层压实后则称为压实填土。近年开山填沟筑地、围海筑地工程较多，填土常用开山石料，大小不一，有的直径达数米，填筑厚度有的达数十米，极不均匀。人工填土地基性质取决于填土性质、压实程度以及堆填时间。

杂填土是人类活动形成的无规则堆积物，其成分复杂，性质也不相同，且无规律性。在大多数情况下，杂填土是比较疏松和不均匀的。在同一场地的不同位置，地基承载力和压缩性也可能有较大的差异。

冲填土是由水力冲填泥沙形成的填土，在围海筑地中常被采用。冲填土的性质与所冲填泥沙的来源及冲填时的水力条件有密切关系。含粘土颗粒较多的冲填土往往是欠固结的，其强度和压缩性指标都比同类天然沉积土差。以粉细砂为主的冲填土，其性质基本上和粉细砂相同。

地 基 处 理 Ground Treatment

1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(2) 人工填土

吹填





素填土施工



1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(3)部分砂土和粉土

主要指饱和粉砂土、饱和细砂土和砂质粉土。

粉砂土：粒径大于0.075mm的颗粒不超过全重的85%，但超过50%称为粉砂土。

细砂土：粒径大于0.25mm的颗粒不超过全重的50%，粒径大于0.075mm的颗粒超过全重的85%的称为细砂土。

砂质粉土：粒径大于0.075mm的颗粒不超过全重的50%，而粒径小于0.005mm的颗粒含量不超过全重的10%，塑性指数Ip小于或等于10的称为砂质粉土。

1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(3) 部分砂土和粉土

处于饱和状态的细砂土、粉砂土和砂质粉土在静载作用下虽然具有较高的强度，但在机器振动、车辆荷载、波浪或地震力的反复作用下有可能产生液化或产生大量震陷变形。地基会因地基土体液化而丧失承载能力。如需要承担动力荷载，这类地基也往往需要进行地基处理。





1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

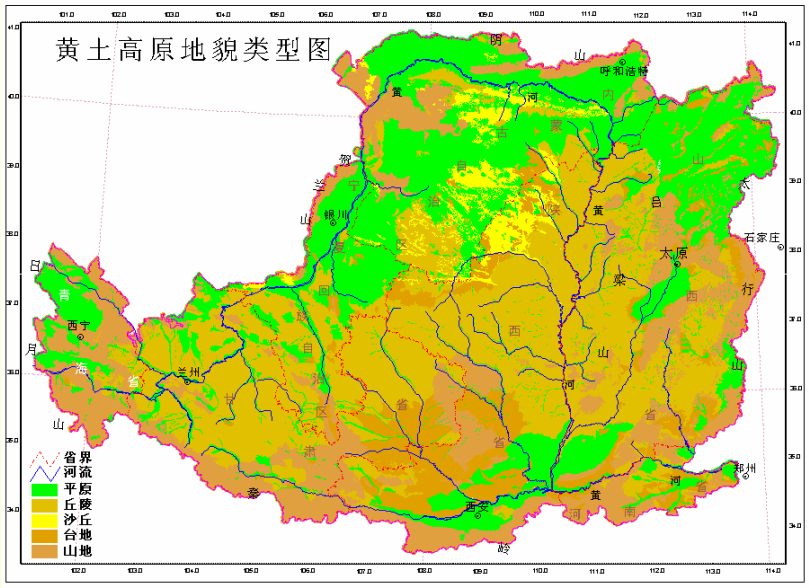
(4)湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土、粉砂土和干旱或半干旱地区具有崩解性的碎石土等。是否属湿陷性土可根据野外浸水载荷试验确定。当在200kPa压力作用下附加变形量与载荷板宽之比大于0.015时称为湿陷性土。在工程建设中遇到较多的是湿陷性黄土。

湿陷性黄土是指在覆盖土层的自重应力或自重应力和建筑物附加应力综合作用下，受水浸湿后，土的结构迅速破坏，并发生显著的附加沉降，其强度也迅速降低的黄土。

当黄土作为建筑物地基时，首先要判断它是否具有湿陷性，然后才考虑是否需要地基处理以及如何处理。





1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(5)有机质土和泥炭土

土中有机质含量大于5%时称为有机质土，大于60%时称为泥炭土。

土中有机质含量高，强度往往降低，压缩性增大，特别是泥炭土，其含水量极高，有时可达200%以上，压缩性很大，且不均匀，一般不宜作为建筑物地基，如用作建筑物地基需要进行地基处理。



1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(6)垃圾土

城市废弃的工业垃圾和生活垃圾形成的地基土。垃圾土的性质很大程度上取决于废弃垃圾的类别和堆积时间。垃圾土的性质十分复杂，垃圾土成分不仅具有区域性，而且与堆积的季节有关。生活垃圾比工业垃圾更为复杂。

垃圾堆场的地基处理也已成为岩土工程师的工作内容，不仅要保持垃圾土地基稳定，而且要解决好防止垃圾污染地下水源等环境保护问题。垃圾场的再利用也已引起人们的重视。





1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(7)膨胀土

膨胀土是指黏粒成分主要由亲水性粘土矿物组成的粘性土。膨胀土在环境的温度和湿度变化时会产生强烈的胀缩变形。利用膨胀土作为建(构)筑物地基时，如果没有采取必要的地基处理措施，膨胀土饱水膨胀，失水收缩常会给建(构)筑物造成危害。膨胀土在我国分布范围很广，根据现有的资料，广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、内蒙古、贵州和广东等地均有不同范围的分布





1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(8) 盐渍土

土中含盐量超过一定数量的土称为盐渍土。盐渍土地基浸水后，土中盐溶解可能产生地基溶陷，某些盐渍土(如含硫酸钠的土)在环境温度和湿度变化时，可能产生土体体积膨胀。除此以外，盐渍土中的盐溶液还会导致建筑物材料和市政设施材料的腐蚀，造成建筑物或市政设施的破坏。

盐渍土主要分布在西北干旱地区的地势低洼的盆地和平原中，盐渍土在滨海地区也有分布。

西藏阿里机场的盐渍土

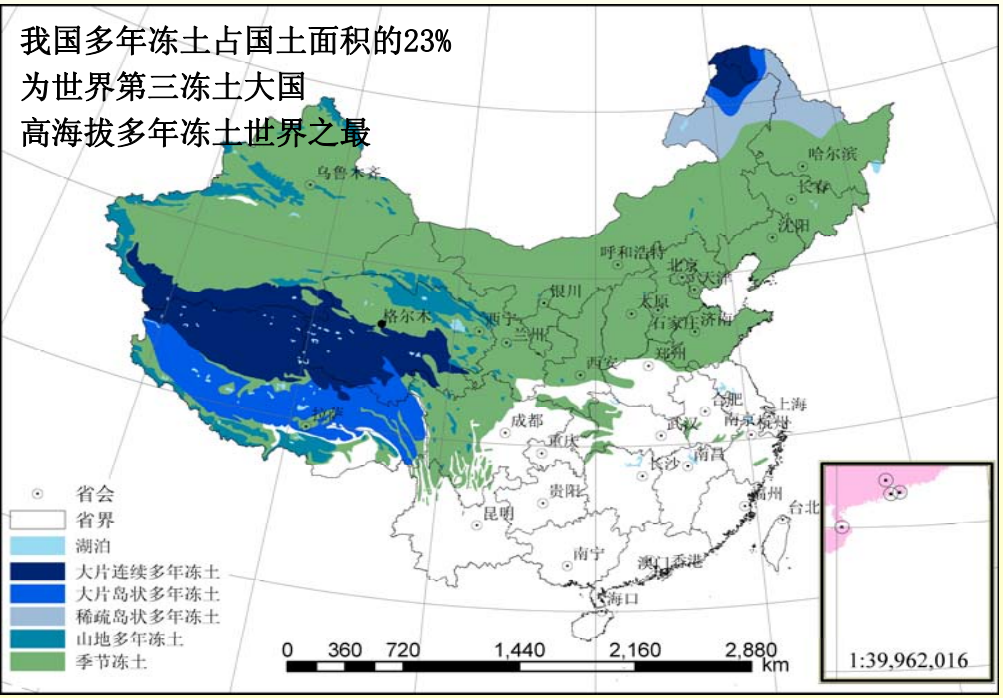


1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

(9) 多年冻土

多年冻土是指温度连续三年或三年以上保持在0° C 或以下，并含有冰的土层。多年冻土的强度和变形有许多特殊性。例如，冻土中因有冰和冰水存在，故在长期荷载作用下有强烈的流变性。多年冻土在人类活动影响下，可能产生融化。因此多年冻土作为建筑物地基需慎重考虑，需要采取必要的处理措施。



中国冻土分布图



冻土剖面照片

1.2 常见软弱土和不良土

Dr. Han WX

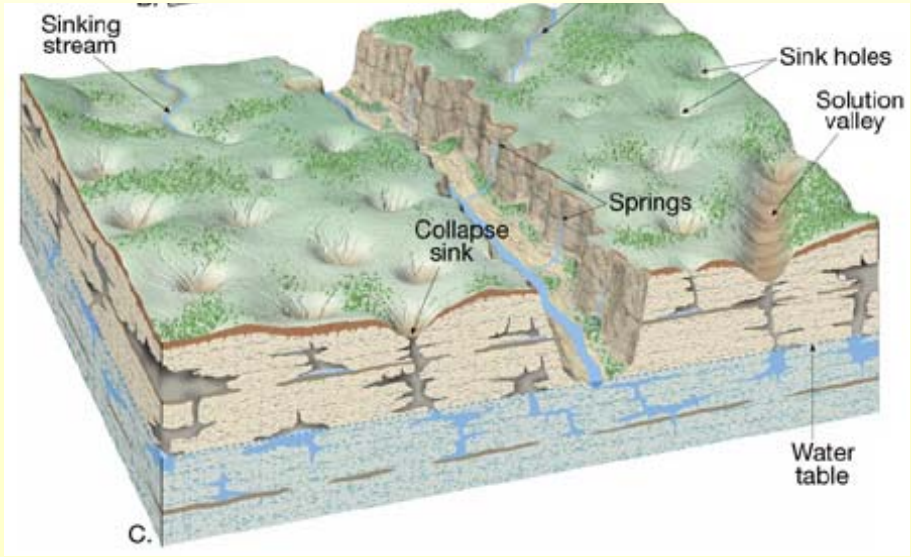
(10)岩溶、土洞和山区地基

岩溶或称“喀斯特”，它是石灰岩、白云岩、泥灰岩、大理石、岩盐、石膏等可溶性岩层受水的化学和机械作用而形成的溶洞、溶沟、裂隙，以及由于溶洞的顶板塌落使地表产生陷穴、洼地等现象和作用的总称。

土洞是岩溶地区上覆土层被地下水冲蚀或被地下水潜蚀所形成的洞穴。

岩溶和土洞对建(构)筑物的影响很大，可能造成地面变形、地基陷落、发生水的渗漏和涌水现象。在岩溶地区修建建筑物时要特别重视岩溶和土洞的影响。山区地基地质条件比较复杂，主要表现在地基的不均匀性和场地的稳定性两方面。





地 基 处 理 Ground Treatment

1.3 地基处理技术发展概况

Dr. Han WX

地基处理是古老而又年轻的领域。灰土垫层基础和短桩处理在我国应用历史悠久，可追溯到数千年前。而大量进行的地基处理技术是伴随现代文明而产生的。 部分地基处理方法在我国应用最早年份 表1-3-1

地基处理方法	年 份	地基处理方法	年 份
普通砂井法	20 世纪 50 年代	土工合成材料	20 世纪 70 年代末
真空预压法	1980 年	强夯置换法	1988 年
袋装砂井法	20 世纪 70 年代	EPS 超轻质填料法	1995 年
塑料排水带法	1981 年	低强度桩复合地基法	1990 年
砂桩法	20 世纪 50 年代	刚性桩复合地基法	1981 年
土桩法	20 世纪 50 年代中	锚杆静压桩法	1982 年
灰土桩	20 世纪 60 年代中	掏土纠倾法	20 世纪 60 年代初
振冲法	1977 年	顶升纠倾法	1986 年
强夯法	1978 年	树根桩法	1981 年
高压喷射注浆法	1972 年	沉管碎石桩法	1987 年
浆液深层搅拌法	1977 年	石灰桩法	1953 年
粉体深层搅拌法	1983 年		

1.3 地基处理技术发展概况

Dr. Han WX

自改革开放以来，我国地基处理技术发展很快，主要反映在下述几个方面

(1)地基处理技术得到普及和提高

新的处理机械、新的处理材料和新的施工工艺。目前国外有的方法,国内都有,并有创新的方法。

(2)地基处理队伍不断扩大

(3)地基处理理论的发展

总之，地基处理技术在我国得到广泛的普及，地基处理水平得到不断提高。地基处理技术已得到土木工程界的各个部门，如勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的关心和重视。地基处理技术的进步带来了巨大的经济效益和社会效益。

1.3 地基处理技术发展概况

Dr. Han WX

自改革开放以来，我国地基处理技术发展很快，主要反映在下述几个方面

(1)地基处理技术得到普及和提高

新的处理机械、新的处理材料和新的施工工艺。目前国外有的方法,国内都有,并有创新的方法。

(2)地基处理队伍不断扩大

(3)地基处理理论的发展

总之，地基处理技术在我国得到广泛的普及，地基处理水平得到不断提高。地基处理技术已得到土木工程界的各个部门，如勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的关心和重视。地基处理技术的进步带来了巨大的经济效益和社会效益。

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

对地基处理方法进行严格的统一分类是很困难的。地基处理方法分类的原则也很多。事实上，根据同一原则进行分类，不同的专家也有不同的方法。下面根据地基处理的加固原理，将地基处理方法分为六类，再加上已有建筑物地基加固、纠倾和迁移，共八类，作一介绍：

(1) 置换

置换是指用物理力学性质较好的岩土材料置换天然地基中部分或全部软弱土体，以形成双层地基或复合地基，达到提高地基承载力、减少沉降的目的。

加固原理主要属于置换的地基处理方法有：换土垫层法、挤淤置换法、褥垫法、砂石桩置换法、强夯置换法等地基处理方法。



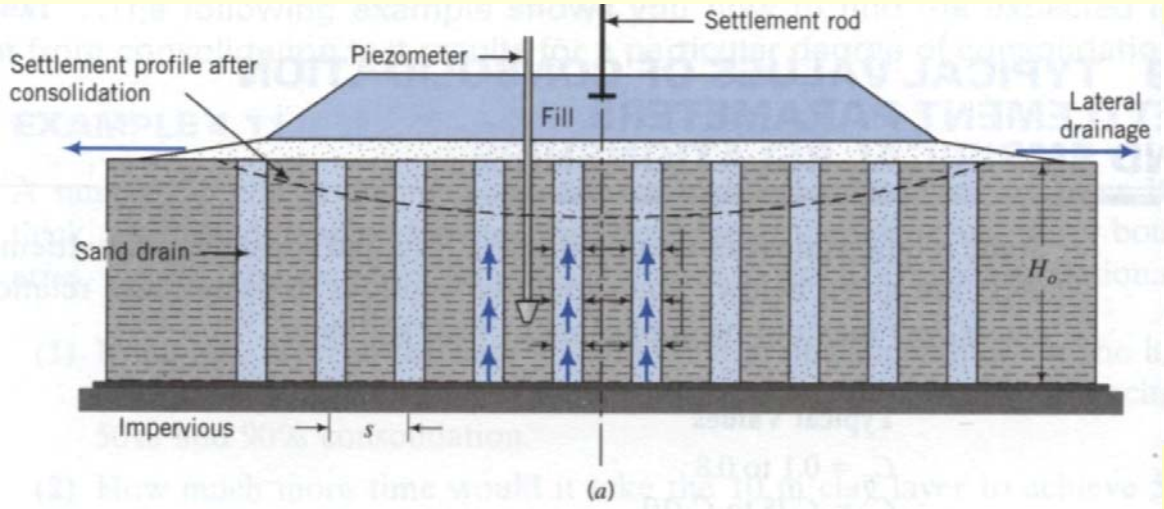
1.4 地基处理方法分类及适用范围

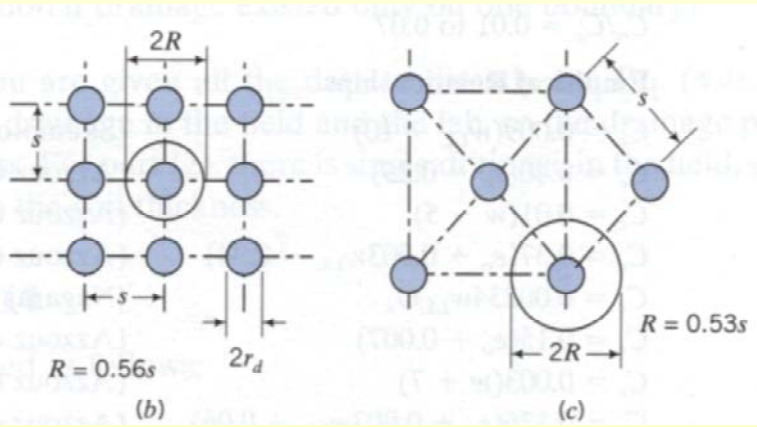
Dr. Han WX

(2)排水固结

排水固结是指土体在一定荷载作用下排水固结，孔隙比减小，抗剪强度提高，以达到提高地基承载力，减少工后沉降的目的。

加固原理主要属于排水固结的地基处理方法按预压加载方法可分为：堆载预压法、超载预压法、真空预压法、真空预压与堆载预压联合作用法、电渗法，以及降低地下水位法等。属于排水固结的地基处理方法按在地基中设置竖向排水系统可分为：普通砂井法、袋装砂井法和塑料排水带法等。





1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

(3)灌入固化物

灌人固化物是指向土体中灌人或拌入水泥、石灰、其他化学固化浆材，在地基中形成增强体，以达到地基处理的目的。

加固原理主要属于灌入固化物的地基处理方法有浆法、渗人性灌浆法、劈裂灌浆法、挤密灌浆法等。



劈裂灌浆



帷幕灌浆

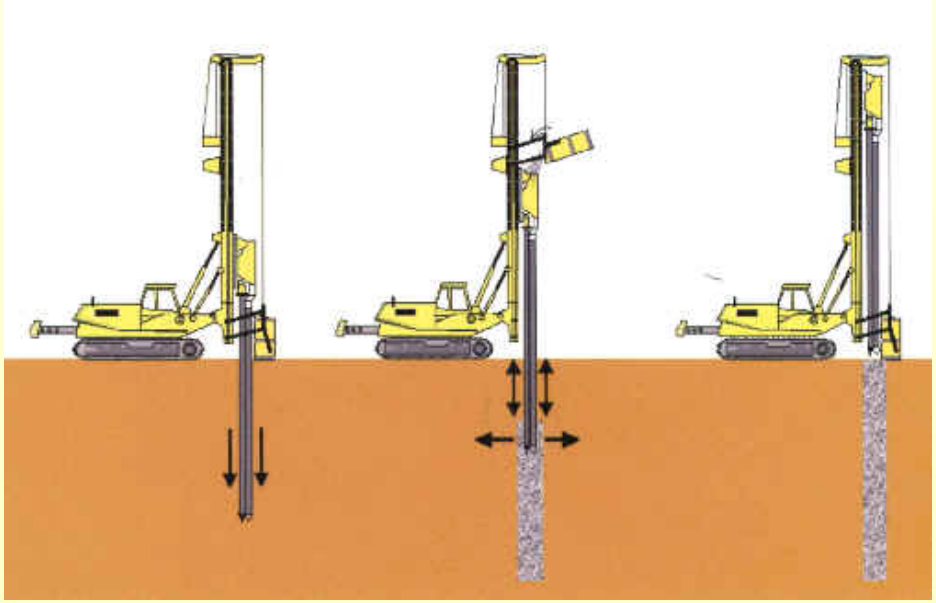
1.4 地基处理方法分类及适用范围

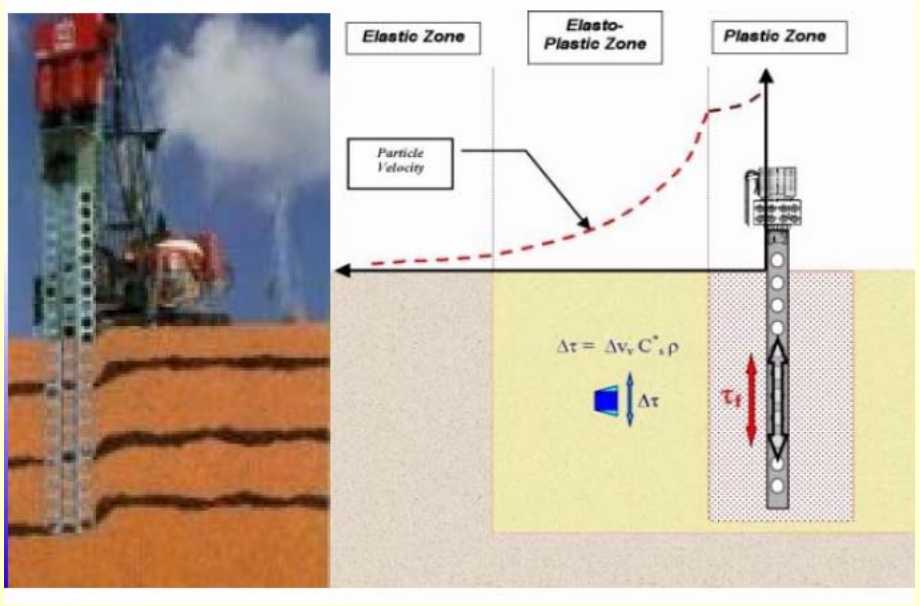
Dr. Han WX

(4) 振密、挤密

振密、挤密是指采用振动或挤密的方法使地基土体密实以达到提高地基承载力和减少沉降的目的。

加固原理主要属于**振密、挤密的地基处理方法有：**表层原位压实法、强夯法、振冲密实法、挤密砂石桩法、爆破挤密法、土桩和灰土桩法、夯实水泥土桩法、柱锤冲扩桩法、孔内夯扩法等。





1.4 地基处理方法分类及适用范围

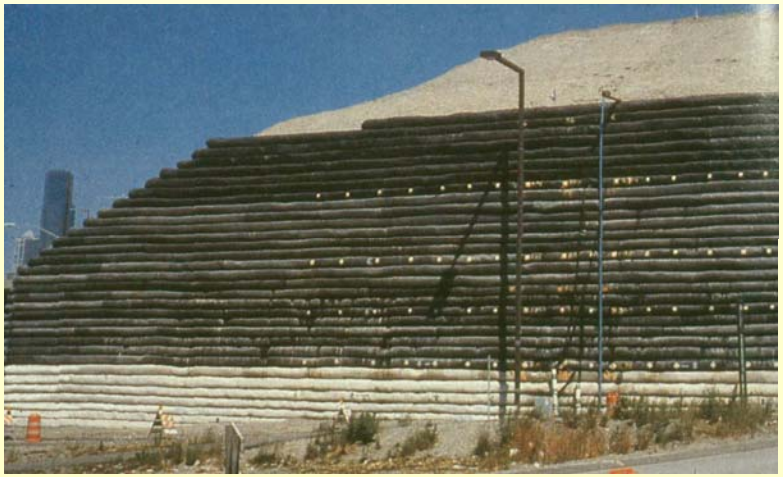
Dr. Han WX

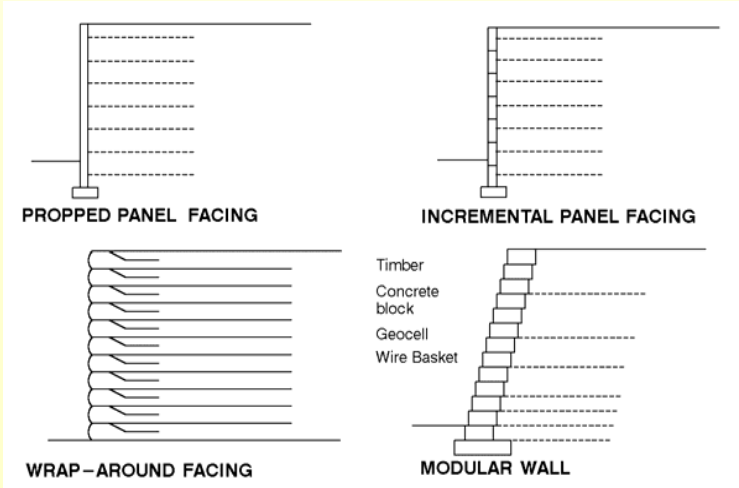
(5) 加筋

加筋是在地基中设置强度高、模量大的筋材，如土工格栅、土工织物等，以达到提高地基承载力、减少沉降的目的。

加固原理主要属于加筋的地基处理方法有：加筋土垫层法、加筋土挡墙法和土钉墙法等。

为了叙述方便，将锚杆支护法、锚定板挡土结构、树根桩法、低强度混凝土桩复合地基和钢筋混凝土桩复合地基法等加固方法也包括在这一部分。





1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

(6)冷热处理

冷热处理是通过冻结地基土体，或焙烧、加热地基土体以改变土体物理力学性质达到地基处理的目的。

加固原理主要属于冷热处理的地基处理方法有：冻结法和烧结法两种。





1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

(7)托换

托换是指对已有建筑物地基和基础进行处理和加固。

托换技术有：基础加宽技术、桩式托换技术、地基加固技术以及综合加固技术等





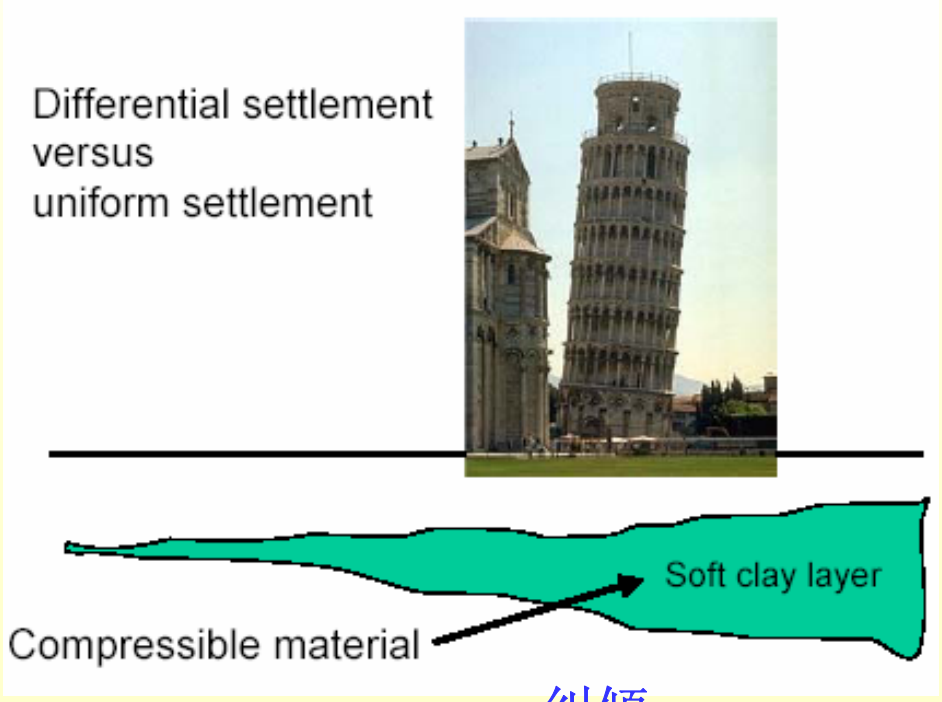
1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

(8)纠倾和迁移 纠倾是指对由于沉降不均匀造成倾斜的建筑物进行矫正。

纠倾技术有：加载纠倾法、掏土纠倾技术、顶升纠倾技术和综合纠倾技术等。

迁移是将已有建筑物从原来的位置移到新的位置。



纠倾



迁移

地 基 处 理 Ground Treatment

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

地基处理方法的简要原理和适用范围

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
置换	换土垫层法	将软弱土或不良土开挖至一定深度，回填抗剪强度较高、压缩性较小的岩土材料，砂、砾、石渣等，并分层夯实，形成双层地基。垫层能有效扩散基底压力，可提高地基承载力、减少沉降。	各种软土地基
	挤淤置换法	通过抛石或夯击回填碎石置换淤泥达到加固地基的目的，也有采用爆破挤淤置换	淤泥或淤泥质粘土地基
	褥垫法	当建(构)筑物的地基一部分压缩性较小，而另一部分压缩性较大时，为了避免不均匀沉降，在压缩性较小的区域，通过换填法铺设一定厚度可压缩性的土料形成褥垫，以减少沉降差	建(构)筑物部分坐落在基岩上，部分坐落在土上，以及类似情况
	砂石桩置换法	利用振冲法、或沉管法，或其他方法在饱和粘性土地基中成孔，在孔内填人砂石料，形成砂石桩。砂石桩置换部分地基土体，形成复合地基，以提高承载力，减小沉降	粘性土地基，因承载力提高幅度小，工后沉降大，已很少应用
	强夯置换法	采用边填碎石边强夯的方法在地基中形成碎石墩体，由碎石墩、墩间土以及碎石垫层形成复合地基，以提高承载力，减小沉降	纷砂土和粘性土地基

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

地基处理方法的简要原理和适用范围

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
置换	石灰桩法	通过机械或人工成孔，在软弱地基中填人生石灰块或生石灰块加其他掺合料，通过石灰的吸水膨胀、放热以及离子交换作用改善桩间土的物理力学性质，并形成石灰桩复合地基，可提高地基承载力，减少沉降	杂填土、软粘土地基
	气泡混合轻质料填土法	气泡混合轻质料的重度为5—12kN／m^3，具有较好的强度和压缩性能，用作路堤填料可有效减小作用在地基上的荷载，也可减小作用在挡土结构上的侧压力	软弱地基上的填方工程
	EPS超轻质填土法	发泡聚苯乙烯(EPS)重度只有土的盂—古，并具有较好的强度和压缩性能，用作填料，可有效减小作用在地基上的荷载，减小作用在挡土结构上的侧压力，需要时也可置换部分地基土，以达到更好的效果	软弱地基上的填方工程

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

地基处理方法的简要原理和适用范围

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
排水固结法	堆载预压法	在地基中设置排水通道—砂垫层和竖向排水系统(竖向排水系统通常有普通砂井、袋装砂井、塑料排水带等)，以缩小土体固结排水距离，地基在预压荷载作用下排水固结，地基产生变形，地基土强度提高。卸去预压荷载后再建造建(构)筑物，地基承载力提高，工后沉降	杂填土、软粘土泥炭土地基
	超载预压法	原理基本上与堆载预压法相同，不同之处是其预压荷载大于设计使用荷载。超载预压不仅可减少工后固结沉降，还可消除部分工后次固结沉降	杂填土、软粘土泥炭土地基
	真空预压法	在软粘土地基中设置排水体系(同堆载预压法)，然后在上面形成一不透气层(覆盖不透气密封膜，或其他措施)，通过对排水体系进行长时间不断抽气抽水，在地基中形成负压区，而使软粘土地基产生排水固结，达到提高地基承载力，减小工后沉降的目的	软粘土地基
	真空预压法与堆载预压法	当真空预压法达不到设计要求时，可与堆载预压联合使用，两者的加固效果可叠加	粘性土地基

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

地基处理方法的简要原理和适用范围

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
排水固结法	电渗法	在地基中形成直流电场，在电场作用下，地基土体产生排水固结，达到提高地基承载力，减小工后沉降的目的	粘性土地基
	降低地下水法	通过降低地下水位，改变地基土受力状态，其效果如堆载预压，使地基土产生排水固结，达到加固目的	砂性土或透水性较好的软粘土
灌入固化物	深层搅拌法	利用深层搅拌机将水泥浆或水泥粉和地基土原位搅拌形成圆柱状、格栅状或连续墙水泥土增强体，形成复合地基以提高地基承载力，减小沉降，也常用它形成水泥土防渗帷幕。深层搅拌法分喷浆搅拌法和喷粉搅拌法两种	淤泥、淤泥质土、粘性土和粉土等软土地基，有机质含量较高时应通过试验确定适用性
	高压喷射注浆法	利用高压喷射专用机械，在地基中通过高压喷射流冲切土体，用浆液置换部分土体，形成水泥土增强体。按喷射流组成型式，高压喷射注浆法有单管法、二重管法、三重管法。按施工工艺可形成定喷、摆喷和旋喷。高压喷射注浆法可形成复合地基以提高承载力，减少沉降，也常用它形成水泥土防渗帷幕	淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土和碎石土等地基，当含有较多的大块石，或地下水流速较快，或有机质含量较高时应通过试验确定适用性

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

地基处理方法的简要原理和适用范围

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
灌入固化物	渗入灌浆法	在灌浆压力作用下，将浆液灌人地基中以填充原有孔隙，改善土体的物理力学性质	中砂、粗砂、砾石地基
	劈裂灌浆法	在灌浆压力作用下，浆液克服地基土中初始应力和土的抗拉强度，使地基中原有的孔隙或裂隙扩张，用浆液填充新形成的裂缝和孔隙，改善土体的物理力学性质	岩基或砂、砂砾石、粘性土地基
	挤密灌浆法	在灌浆压力作用下，向土层中压人浓浆液，在地基形成浆泡，挤压周围土体。通过压密和置换改善地基性能。在灌浆过程中因浆液的挤压作用可产生辐射状上抬力，引起地面隆起	常用于可压缩性地基，排水条件较好的粘性土地基

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

地基处理方法的简要原理和适用范围

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
振动挤密	表层原位压实	采用人工或机械夯实、碾压或振动，使土体密实。密实范围较浅，常用于分层填筑	杂填土、疏松无粘性土、非饱和粘性土、湿陷性黄土等地基的浅层处理
	强夯法	采用重量为10-40t的夯锤从高处自由落下，地基土体在强夯的冲击力和振动力作用下密实，可提高地基承载力，减少	碎石土、砂土、低饱和度的粉土与粘性土，湿陷性黄土、杂填土和素填土等地基
	振冲密实法	一方面依靠振冲器的振动使饱和砂层发生液化，砂颗粒重新排列孔隙减小，另一方面依靠振冲器的水平振动力，加回填料使砂层挤密，从而达到提高地基承载力，减小沉降，并提高地基土体抗液化能力。振冲密实法可加回填料也可不加回填料。加回填料，又称为振冲挤密碎石桩法	黏粒含量小于10％的疏松砂性土地基
	挤密砂石桩法	采用振动沉管法等在地基中设置碎石桩，在制桩过程中对周围土层产生挤密作用。被挤密的桩间土和密实的砂石桩形成砂石桩复合地基，达到提高地基承载力，减小沉降的目的	砂土地基、非饱和粘性土地基

地 基 处 理 Ground Treatment

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
振动挤密	爆破挤密法	利用在地基中爆破产生的挤压力和振动力使地基土密实以提高土体的抗剪强度，提高地基承载力和减小沉降	饱和净砂、非饱和但经灌水饱和的砂、粉土、湿陷性黄土地
	土桩、灰土桩法	采用沉管法、爆扩法和冲击法在地基中设置土桩或灰土桩，在成桩过程中挤密桩间土，由挤密的桩间土和密实的土桩或灰土桩形成土桩复合地基或灰土桩复合地基，以提高地基承载力和减小沉降，有时为了消除湿陷性黄土的湿陷性	地下水位以上的湿陷性黄土、杂填土、素填土等地基
	夯实水泥桩法	在地基中人工挖孔，然后填入水泥与土的混合物，分层夯实，形成水泥土桩复合地基，提高地基承载力和减小沉降	同上
	柱锤冲扩桩法	在地基中采用直径柳—500nm，长2—5m，质量1—8t的柱状锤，将地基土层冲击成孔，然后将拌合好的填料分层填人桩孑L夯实，形成柱锤冲扩桩复合地基，以提高地基承载力和减小沉降	同上
	孔内夯扩法	根据工程地质条件，采用人工挖孔，螺旋钻成孔，或振动沉管法等方法在地基成孔，回填灰土、水泥土、矿渣土、碎石等填料，在孔内夯实填料并挤密桩间土，由挤密的桩间土和夯实的填料桩形成复合地基，达到提高地基承载力，减小沉降的目的	同上

地 基 处 理 Ground Treatment

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
加筋	加筋土垫层法	在地基中铺设加筋材料(如土工织物、土工格栅等、金属板条等)形成加筋土垫层，以增大压力扩散角，提高地基稳定性	筋条间用无粘性土，加筋土垫层可适用各种软弱地基
	加筋土挡墙法	利用在填土中分层铺设加筋材料以提高填土的稳定性，形成加筋土挡墙。挡墙外侧可采用侧面板形式，也可采用加筋材料包裹形式	应用于填土挡土结构
	土钉墙法	通常采用钻孔、插筋、注浆在土层中设置土钉，也可直接将杆件插人土层中，通过土钉和土形成加筋土挡墙以维持和提高土坡稳定性	在软粘土地基极限支护高度5m左右，砂性土地基应配以降水措施。极限支护高度与土体抗剪强度和边坡坡度有关
	锚杆支护法	锚杆通常由锚固段、非锚固段和锚头三部分组成。锚固段处于稳定土层，可对锚杆施加预应力，用于维持边坡稳定	软粘土地基中应慎用
	锚定板挡墙结构	由墙面、钢拉杆、锚定板和填土组成。锚定板处在填土层，可提供较大的锚固力。锚定板挡土结构用于堵十支挡结构	应用于填土挡土结构

地 基 处 理 Ground Treatment

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
加筋	树桩根法	在地基中设置如树根状的微型灌注桩(直径70—29m)，提高地基承载力或土坡的稳定性	各类地基
	CFG桩	在地基中设置低强度混凝土桩，与桩间土形成复合地基，提高地基承载力，减小沉降	各类深厚软弱地基
	钢筋混凝土桩	在地基中设置钢筋混凝土桩，与桩间土形成复合地基，提高地基承载力，减小沉降	各类深厚软弱地基
	长短桩复合地	由长桩和短桩与桩间土形成复合地基，提高地基承载力减小沉降。长桩和短桩可采用同一桩型，也可采用两种桩型。通常长桩采用刚度较大的桩型，短桩采用柔性桩或散体材料桩	深厚软弱地基
冷热处理	冻结法	冻结土体，改善地基土截水性能，提高土体抗剪强度形成挡土结构或止水帷幕	饱和砂土或软粘土，作施工临时措施
	烧结法	钻孔加热或焙烧，减少土体含水量，减少压缩性，提高土体强度，达到地基处理目的	软粘土、湿陷性黄土，适用于有富余热源的地区

地 基 处 理 Ground Treatment

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
托换	基础加宽法	通过加大原建筑物基础底面积，减小基底接触压力，使原地基承载力满足要求，达到加固目的	原建筑物地基承载力不满足要求，但原天然地基承载力较高
	桩式托换法	在原建筑物基础下设置钢筋混凝土桩以提高承载力、减小沉降，达到加固目的。按设置桩的方法分静压桩法、树根桩法和其他桩式托换法。静压桩法又可分为锚杆静压桩法和坑式静压桩法等	原建筑物地基承载力不满足要求，但原天然地基承载力也较低
	地基加固法	通过采用高压喷射注浆法、渗人性灌浆法、劈裂灌浆法、挤密灌浆法、石灰桩法等地基加固技术，使原建筑物地基承载力满足要求，达到加固目的	原建筑物地基承载力不满足要求，但原天然地基承载力也较低
	综合托换法	将两种或两种以上托换方法综合应用达到加固目的	原建筑物地基承载力不满足要求，但原天然地基承载力也较低

1.4 地基处理方法分类及适用范围

Dr. Han WX

类别	方法	简 要 原 理	适用范围
纠倾与迁移	加载纠倾法	通过堆载或其他加载形式使沉降较小的一侧产生沉降使不均匀沉降减小，达到纠倾目的	对深厚软土地基较适合
	掏土纠倾法	在建筑物沉降较少的部位以下的地基中或在其附近的外侧地基中掏取部分土体，迫使沉降较少的部分进一步产生沉降以达到纠倾的目的	各类不良地基
	顶升纠倾法	在墙体中设置顶升梁，通过千斤顶顶升整幢建筑物，不仅可以调整不均匀沉降，并可整体顶升至要求标高	各类不良地基
	综合法	将加固地基与纠倾结合，或将几种方法综合应用。如综合应用静压锚杆法和顶升法、静压锚杆法和掏土法	各类不良地基
	迁移	将整幢建筑物与原地基基础分离，通过顶推或牵拉，移到新的位置	需要迁移的建筑物

地 基 处 理 Ground Treatment

1.5 地基处理方法选用原则和规划程序

Dr. Han WX

地基处理方法很多，因地制宜是选用地基处理方法的一项重要的选用原则

首先，根据建(构)筑物对地基的各种要求和天然地基条件确定地基是否需要处理。

若天然地基能够满足建(构)筑物对地基的要求时，应尽量采用天然地基。

当天然地基不能满足建(构)筑物对地基要求时，应将上部结构、基础和地基统一考虑，应重视上部结构、基础和地基的共同作用。否则不仅会造成不必要的浪费且可能带来不良后果。

在具体确定地基处理方案前，应根据天然地基的工程地质和水文地质条件、地基处理方法的原理、过去应用的经验和机具设备、材料条件，进行地基处理方案的可行性研究，提出多种技术上可行的方案。

然后，对提出的多种方案进行技术、经济、进度等方面的比较分析，并重视考虑环境保护要求，确定采用一种或几种地基处理方法。这也是地基处理方案的优化过程。

最后，可根据初步确定的地基处理方案，根据需要决定是否进行小型现场试验或进行补充调查。然后进行施工设计，再进行地基处理施工。施工过程中要进行监测、检测，如有需要还应进行反分析，根据情况可对设计进行修改、补充。

地 基 处 理 Ground Treatment

1.5 地基处理方法选用原则和规划程序

Dr. Han WX

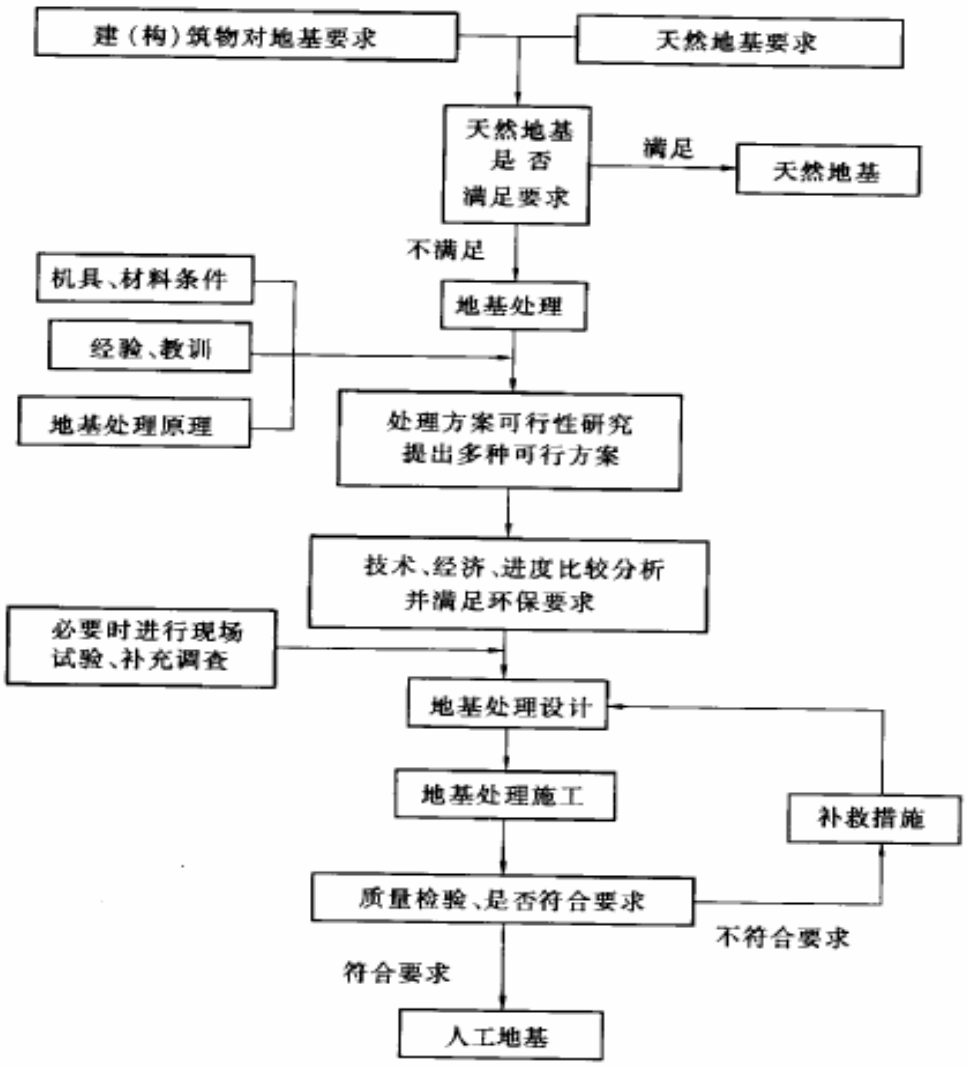


图 1-5-1 地基处理规划程序

1.5 地基处理方法选用原则和规划程序

Dr. Han WX

强调：重视对天然地基工程地质条件的详细了解。

详细的工程地质勘察是判断天然地基能否满足建(构)物对地基要求的重要依据之一，也是确定合理的地基处理方法的主要基本资料之一。通过工程地质勘察，调查建筑物场地的地形地貌，查明地质条件：包括岩土的性质、成因类型、地质年代、厚度和分布范围。对地基中是否存在明浜、暗浜、古河道、古井、古墓要了解清楚。对于岩层，还应查明风化程度及地层的接触关系，调查天然地层的地质构造，查明水文及工程地质条件，确定有无不良地质现象等。测定地基土的物理力学性质指标，包括：天然重度、相对密度、颗粒分析、塑性指数、渗透系数、压缩系数、压缩模量、抗剪强度等。最后按照要求，对场地的稳定性和适宜性，地基的均匀性、承载力和变形特性等进行评价。

另外，需要强调进行地基处理多方案比较。对一具体工程，技术上可行的地基处理方案往往有几个，应通过技术、经济、进度等方面综合分析以及对环境的影响，进行地基处理方案优化，以得到较好的地基处理方案。

1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

对地基承载力的表达形式主要有下述几种：地基极限承载力、地基容许承载力、地基承载力特征值、地基承载力标准值、地基承载力基本值以及地基承载力设计值等等。在介绍上述不同表述的地基承载力概念前，先介绍土塑性力学中关于条形基础Prandtl极限承载力解的基本概念。

条形基础Prandtl极限承载力解的极限状态示意图：

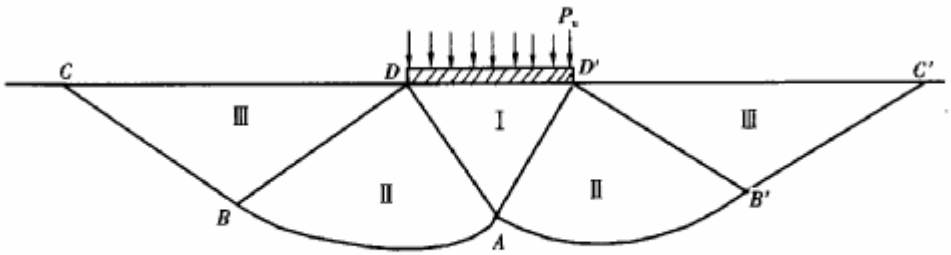


图 1-6-1 Prandtl 解示意图

设条形基础设条形基础作用在地基上的压力为均匀分布，基础底面光滑。地基为半无限体，土体服从为刚塑性假设，土体抗剪强度指标为c、Φ，在解中不考虑土体自重。当条形基础上荷载处于极限状态时，地基中产生的塑性流动区如图1-6-1中所示。图中I和III区为等腰三角形，II区为楔形，其中AB和AB'为对数螺线。∠ADD'和∠AD'D为π/4+Φ/2，∠BCD和∠B'C'D'为π/4-Φ/2，∠ADB和∠AD'B'为π/2。

1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

根据极限分析理论或滑移线理论，可得到条形基础极限荷载表达式为：

$$p_u = c\cot\varphi\left[\frac{1+\sin\varphi}{1-\sin\varphi}\exp(\pi\tan\varphi) - 1\right] \quad (1\text{-}6\text{-}1)$$

式中 c——土体黏聚力；

φ——内摩擦角。

当 $\varphi = 0$ 时，式（1-6-1）蜕化为

$$p_u = (2+\pi)\,c \quad (1\text{-}6\text{-}2)$$

土力学及基础工程中的太沙基地基承载力解等表达形式均源自该Prandtl解，可根据一定的条件，通过对式(1-6-1)进行修正获得。

1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

1.6.1 地基承载力概念

地基极限承载力是地基处于极限状态时所能承担的最大荷载，或者说地基产生失稳破坏前所能承担的最大荷载。

地基极限承载力也可通过载荷试验确定。在载荷试验过程中，通常取地基处于失稳破坏前所能承担的最大荷载为极限承载力值。

对某一地基而言，一般说来其地基极限承载力值是惟一的。

地基容许承载力是通过地基极限承载力除以安全系数得到的。影响安全系数取值的因素很多，如安全系数取值大小与建筑物的重要性、建筑物的基础类型、采用的设计计算方法以及设计计算水平等因素有关，还与国家综合实力、生活水平以及建设业主的实力等因素有关。

因此，一般说来对某一地基而言其地基容许承载力值不是惟一的。

1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

1.6.2 地基中应力状态的三个阶段

现场荷载试验各级荷载及其相应的相对稳定沉降值，可得荷载与沉降的关系曲线，即***p-s*曲线**。

各级荷载作用下的沉降与时间的关系曲线，即***s-t*曲线**。

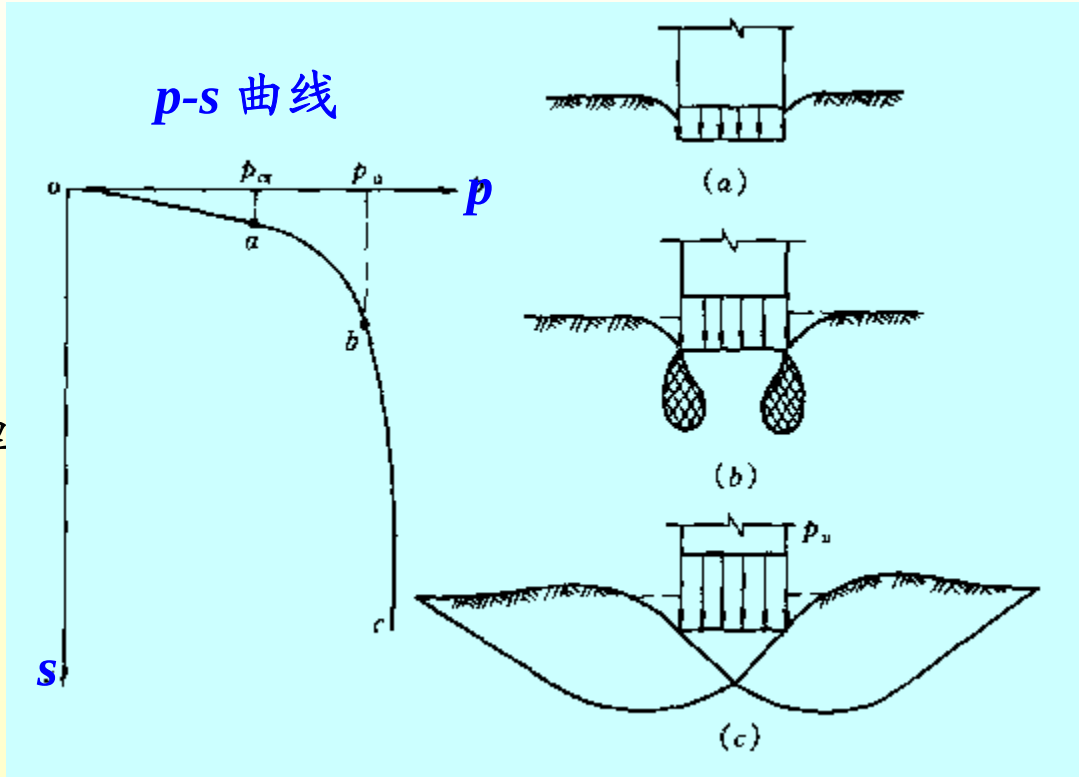
在某一瞬间内载荷板沉降与该瞬时时间之比(***ds/dt***)，称为**土的变形速度**。

在荷载增大的过程中变化，可得**地基土中应力状态的三个阶段**:

Ⅰ 压缩阶段

Ⅱ 剪切阶段

Ⅲ 隆起阶段

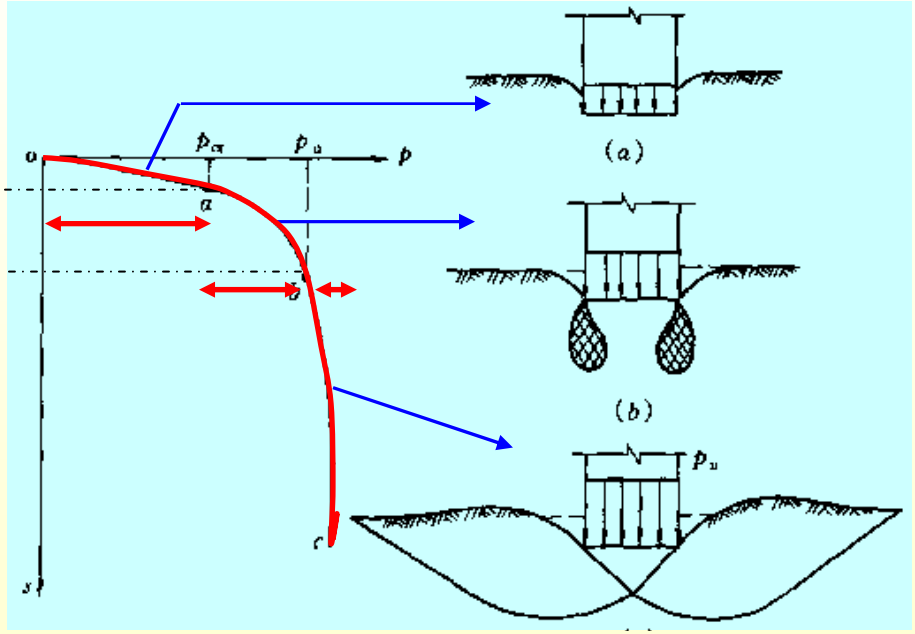


1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

1.6.2 地基中应力状态的三个阶段

(1) 压缩阶段，又称直线变形阶段，对应***p-s***曲线的***oa***段。在这个阶段外加荷载较小，地基土以压缩变形为主，压力与变形之间基本呈线性关系，地基中的应力尚处在弹性平衡阶段，地基中任一点的剪应力均小于该点的抗剪强度。该阶段应力一般可近似采用弹性理论进行分析。



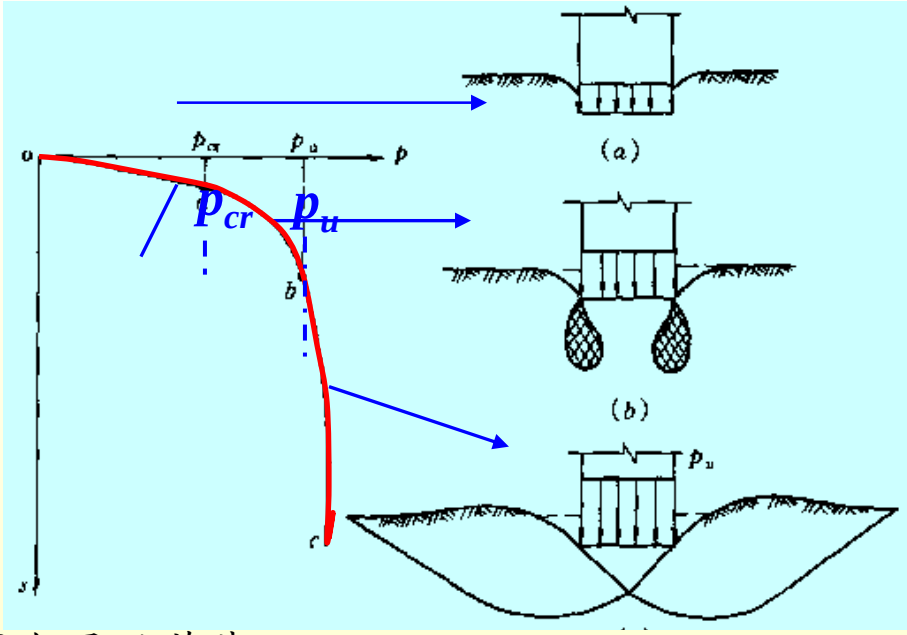
(2) 剪切阶段，又称塑性变形阶段，对应***p-s***曲线的***ab***段。在这一阶段，从基础两侧底边缘开始，局部位置土中剪应力等于该处土的抗剪强度，土体处于塑性极限平衡状态，宏观上***p-s***曲线呈现非线性的变化。随着荷载的增大，基础下土的塑性平衡区扩大，载荷—变形曲线的斜率增大。在这一阶段，虽然地基土部分区域发生了塑性极限平衡，但塑性区并未在地基中连成一片，地基基础仍有一定的稳定性，地基的安全度则随着塑性区的扩大而降低。

1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

1.6.2 地基中应力状态的三个阶段

(3)隆起阶段，又称塑性流动阶段，对应*p-s*曲线的*bc*段。该阶段基础以下两侧的地基塑性区贯通并连成一片，基础两侧土体隆起，很小的荷载增量都会引起基础大的沉陷，这时变形主要不是由上的压缩引起，而是由地基土的塑性流动引起，是一种随时间不稳定的变形，其结果是基础向比较薄弱一侧倾倒，地基整体失去稳定性。



相应于地基土中应力状态的三个阶段，有两个界限荷载：

从压缩阶段过渡到剪切阶段的界限荷载，称为比例界限荷载或临塑荷载，一般记为p_{cr}它是*p-s*曲线上*a*点所对应的荷载；

从剪切阶段过渡到隆起阶段的界限荷载，称为极限荷载，记为p_u，它是*p-s*曲线上*b*点所对应的荷载。由此取p_{cr}或p_{cr}/K(*K*为安全系数)确定地基容许载力。

1.6 关于地基承载力表达形式的说明

Dr. Han WX

1.6.3 规范说明

现行《建筑地基基础设计规范》(GB 50(07—2002)采用的地基承载力表达形式是地基承载力特征值，对应的荷载效应为标准组合。在条文说明中对地基承载力特征值的解释为“用以表示正常使用极限状态计算时采用的地基承载力值，其涵义即为在发挥正常使用功能时所允许采用的抗力设计值”。

《建筑地基基础设计规范》((GBJ 7—89)采用地基承载力标准值、地基承载力基本值和地基承载力设计值等表达形式。地基承载力标准值是按该规范规定的标准试验方法经规范规定的方法统计处理后确定的地基承载力值。也可以根据土的物理和力学性质指标，根据规范提供的表确定地基承载力基本值，再经规范规定的方法进行折算后得到地基承载力标准值。对地基承载力标准值，经规范规定的方法进行基础深度、宽度等修正后可得到地基承载力设计值，对应的荷载效应为基本组合。这里的地基承载力设计值应理解为工程设计时可利用的最大地基承载力取值。

在某种意义上可以将上述规范中所述的地基承载力特征值和地基承载力设计值理解为地基容许承载力值，而地基承载力标准值和地基承载力基本值是为了获得上述地基承载力设计值的中间过程取值。

思 考 题

Dr. Han WX

1. 简述地基处理的目的和意义。
2. 简述土木工程建设中常见软弱土和不良土的类别和工程特性。
3. 按地基处理加固原理，常用地基处理方法可分为哪几类?简述各类加固方法的加固原理。
4. 简述地基处理规划程序。
5. 为什么因地制宜是选用地基处理方法的一项重要原则?