

第一篇 总论

第1章 绪论

1.1 地基处理的目的和意义

地基是指承受建（构）筑物荷载的地层。地基所面临的问题有以下四方面：

（1）承载力及稳定性问题。当地基的抗剪强度不足以支承上部结构的自重及外荷载时，地基就会产生局部或整体剪切破坏。

（2）沉降、水平位移及不均匀沉降问题。当地基在上部结构的自重及外荷载作用下产生过大的变形时，会影响结构物的正常使用，特别是超过建（构）筑物所能容许的不均匀沉降时，结构可能开裂破坏。沉降量过大时，不均匀沉降往往也较大。湿陷性黄土遇水而发生剧烈的变形也可包括在这一类地基问题中。

（3）地基的渗透量或水力比降超过容许值时，会发生水量损失，或因潜蚀和管涌而可能导致失事。

（4）地震、机器以及车辆的振动、海浪作用和爆破等动力荷载可能引起地基土，特别是饱和无粘性土的液化、失稳和震陷等危害。这类地基问题也可能分别概括于上述稳定和变形问题中，只不过是动力荷载引起的。

在土木工程建设中，当天然地基不能满足建（构）筑物对地基的要求时，需对天然地基进行加固改良，形成人工地基，以满足建（构）筑物对地基的要求，保证其安全与正常使用。这种地基加固改良称为地基处理（Ground Treatment 或 Ground Improvement）。

地基处理的目的是利用换填、夯实、挤密、排水、胶结、加筋和热学等方法对地基土进行加固，用以改良地基土的工程特性，主要表现在以下几个方面：

（1）提高地基土的抗剪强度。地基的剪切破坏表现在：建（构）筑物的地基承载力不够；由于偏心荷载及侧向土压力的作用使建（构）筑物失稳；由于填土或建（构）筑物荷载，使邻近的地基土产生隆起；土方开挖时边坡失稳；基坑开挖时坑底隆起。地基的剪切破坏反映了地基土的抗剪强度不足，因此，为了防止剪切破坏，就需要采取一定措施以增加地基土的抗剪强度。

（2）降低地基土的压缩性。地基土的压缩性表现在建（构）筑物的沉降和差异沉降较大；由于有填土或建（构）筑物荷载，使地基产生固结沉降；作用于建（构）筑物基础的负摩擦力引起建（构）筑物的沉降；大范围地基的沉降和不均匀沉降；基坑开挖引起邻近地面沉降；由于降水地基产生固结沉降。地基的压缩性反映在地基土的压缩模量指标的大小。因此，需要采取措施以提高地基土的压缩模量，从而减少地基的沉降或不均匀沉降。

（3）改善地基土的透水特性。地基的透水性表现在堤坝等基础产生的地基渗漏；基坑开挖工程中，因土层内夹薄层粉砂或粉土而产生流砂和管涌。以上都是地下水的运动中所出现的问题。为此，必须采取措施使地基土降低透水性和减少其上水压力。

（4）改善地基的动力特性。地基的动力特性表现在地震时饱和松散粉细砂（包括部分

粉土)将产生液化;由于交通荷载或打桩等原因,使邻近地基产生振动下沉。为此,需要采取措施防止地基液化,并改善其振动特性以提高地基的抗震性能。

(5)改善特殊土的不良地基特性。主要是消除或减弱黄土的湿陷性和膨胀土的胀缩特性等。

天然地基是否需要进行地基处理取决于地基土的性质和建(构)筑物对地基的要求两个方面。地基处理的对象是软弱地基和特殊土地基。在土木工程建设中经常遇到的软弱土和不良土主要包括:软粘土、人工填土、部分砂土和粉土、湿陷性土、有机质土和泥炭土、膨胀土、多年冻土、盐渍土、岩溶、土洞、山区地基以及垃圾填埋地基等。

(1) 软粘土

软粘土是软弱粘性土的简称,有时简称为软土。它主要是第四纪后期形成的海相、泻湖相、三角洲相、溺谷相和湖沼相的粘性土沉积物或河流冲积物,也有的属于新近淤积物。大部分是饱和的,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(40%~90%);天然孔隙比大(1.0~2.0);抗剪强度低(不排水抗剪强度约5~25kPa);压缩系数高(0.5~1.5MPa⁻¹);压缩模量低(1~5MPa);渗透系数小(10⁻⁶~10⁻⁸ cm/s)。软粘土地基承载力低,在荷载作用下,地基沉降变形大,不均匀沉降也大,而且由于软粘土具有流变性,除了固结应力引起的固结变形之外,在剪应力作用下,土体处于长期变形过程中。沉降稳定的历时比较长,一般需要几年,甚至几十年。软粘土地基是在工程建设中遇到最多的需要处理的软弱地基,它广泛分布在我国沿海以及内地河流两岸和湖泊地区。例如,天津、连云港、上海、杭州、宁波、温州、福州、厦门、湛江、广州、深圳、珠海等沿海地区,以及昆明、武汉、南京、九江、南通、马鞍山等内陆地区。

(2) 人工填土(素填土、杂填土和冲填土)

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。按堆填时间分为老填土和新填土两类。堆填时间超过10年的粘性土和堆填时间超过5年的粉土,均称为老填土。

素填土是由碎石、砂或粉土、粘性土等一种或几种材料组成的填土,其中不含杂质或含杂质较少。若分层压实则称为压实填土。其性质取决于填土性质、压实程度以及堆填时间。

杂填土是由人类活动形成的无规则堆积物,由大量建筑垃圾、工业废料或生活垃圾组成,其成分复杂,性质也不相同,且无规律性。在大多数情况下,杂填土是比较疏松的和不均匀的,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。冲填土的性质与冲填泥沙的来源以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。粉细砂为主的冲填土,其性质基本上和粉细砂相同。

填土一般会产生较大的固结沉降。

(3) 部分砂土和粉土

主要指饱和的粉细砂和砂质粉土。处于饱和状态的粉细砂及砂质粉土,虽然在静载作用下具有较高的强度,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大量的震陷变形。地基会因液化而丧失承载能力。如需要考虑动力荷载,这种地基也经常

需要进行处理。

(4) 湿陷性土

湿陷性土包括湿陷性黄土、粉砂土和干旱、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，土体的附加变形量与载荷板宽之比大于 0.015 时成为湿陷性土。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与建(构)筑物附加应力综合作用下，受水浸湿后，土的结构迅速破坏，并发生显著的附加下沉，其强度也迅速降低的黄土。由于黄土湿陷而引起的建(构)筑物不均匀沉降是造成黄土地区工程事故的主要原因。黄土在我国特别发育，地层多、厚度大、广泛分布在甘肃、陕西、山西大部分地区，以及河南、河北、山东、宁夏、辽宁、新疆等部分地区。当黄土作为建(构)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。

(5) 有机质土和泥炭土

有机质含量大于 5% 的土称为有机质土，有机质含量大于 60% 的土称为泥炭土。

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，压缩性很大，且不均匀，一般不宜作为天然地基，需要进行地基处理。

(6) 膨胀土

膨胀土是指粘粒成分主要由亲水性粘土矿物组成的粘性土，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措施进行地基处理，常会给建(构)筑物造成危害。膨胀土在我国分布范围很广，广西、云南、湖北、河南、安徽、四川、河北、山东、陕西、江苏、内蒙古、贵州和广东等均有不同范围的分布。

(7) 多年冻土

多年冻土是指温度连续三年或三年以上保持在摄氏零度或零度以下，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，冻土中因有冰和未结冰水存在，故在长期荷载作用下具有强烈的流变性。多年冻土作为建(构)筑物的地基需慎重考虑，需要采取处理措施。

(8) 盐渍土

常将易溶盐含量超过 0.3% 的土称为盐渍土。盐渍土中的盐遇水溶解后，物理和力学性质均会发生变化，强度降低。盐渍土地基浸水后，因盐溶解而产生地基溶陷。某些盐渍土(如含 Na_2SO_4 的土)在温度或湿度变化时，会发生体积膨胀。盐渍土中的盐还会导致地下设施材料腐蚀。我国盐渍土主要分布在西北干旱地区的新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古等地势低平的盆地和平原中。

(9) 岩溶、土洞和山区地基

岩溶又称“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，发生渗水和涌水现象。在岩溶地区修建建(构)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个方面。山区基岩表面起伏大，且可能有大块孤石，这些因素常会导致建（构）筑物基础产生不均匀沉降。另外，在山区常有可能遇到滑坡、崩塌和泥石流等不良地质现象，给建（构）筑物造成直接的或潜在的威胁。在山区修建建（构）筑物时要重视地基的稳定性和避免过大的不均匀沉降，必要时需进行地基处理。

（10）垃圾填埋土地基

近年来垃圾填埋土地基的处理问题逐步引起人们的重视。垃圾填埋土地基非常复杂，其性质主要取决于填埋的垃圾类别和性质。垃圾填埋土地基处理目的主要有两方面：一类是防止其对周围环境影响，特别是对地下水的污染；一类是垃圾填埋土地基的利用。

除了在上述各种软弱和不良地基上建造建（构）筑物时需要考虑地基处理外，当旧房改造、加层，工厂设备更新和道路加宽等造成荷载增大，对原来地基提出更高要求，原地基不能满足新的要求时；或者在开挖深基坑，建造地下商场、地下车库、地下铁道等工程中有土体稳定、变形或渗流问题时，也需要进行地基处理。地基处理也常用于减小或消除施工扰动对周围环境的影响。

随着我国现代化建设事业的发展，越来越多的土木工程需要对地基进行处理，采用人工地基以满足建（构）筑物对地基的要求。各种各样的建（构）筑物对地基的要求是不同的，各地区天然地基的情况也有很大的差别。即使在同一地区，地质情况可能有较大的差异，这就决定了地基处理问题的复杂性。是采用天然地基，还是采用人工地基？采用人工地基时选取何种地基处理方案？这是建造建（构）筑物前首先需要解决的问题。处理是否恰当，不仅影响建（构）筑物的安全和使用，而且对建设速度、工程造价有不小的影响。不少时候甚至成为工程建设中的关键问题。

在土木工程领域中，与上部结构比较，地基的不确定因素多、问题复杂、难度大。地基问题处理不好，后果非常严重。据调查统计，世界各国发生的各种土木工程建设中的工程事故，地基问题常常是主要原因。地基问题处理好，不仅安全可靠而且具有较好的经济效益。

需求促进发展、实践发展理论，近些年来我国地基处理技术发展很快，地基处理队伍不断壮大，地基处理水平不断提高，地基处理已成为土木工程领域中非常活跃的一个热点。总结国内外地基处理方面的经验教训，推广和发展各种地基处理技术，提高地基处理水平，这对加快工程建设速度、节约建设投资具有特别重要的意义。

1.2 地基处理方法分类及应用范围

现有的地基处理方法很多，新的地基处理方法还在不断发展。要对各种地基处理方法进行精确的分类是困难的。根据地基处理的加固原理，可对地基处理方法进行以下分类：

1.2.1 换土垫层法

换土垫层法的基本原理是挖除浅层软弱土或不良土，分层碾压或夯实土，按回填的材料可分为砂（或砂石）垫层、碎石垫层、粉煤灰垫层、干渣垫层、土（灰土、二灰）垫层等。干渣分为分级干渣、混合干渣和原状干渣；粉煤灰分为湿排灰和调湿灰。换土垫层法可提高持力层的承载力，减少沉降量；消除或部分消除土的湿陷性和胀缩性；防止土的冻胀作用及改善土的抗液化性。常用机械碾压、平板振动和重锤夯实进行施工。

该法常用于基坑面积宽大和开挖土方较大的回填土方工程，一般适用于处理浅层软弱土层（淤泥质土、松散素填土、杂填土、浜填土、以及已完成自重固结的冲填土等）与低洼区域的填筑。一般处理深度为 2~3m。适用于处理浅层非饱和软弱土层、湿陷性黄土、膨胀土、季节性冻土、素填土和杂填土。

1.2.2 振密、挤密法

振密、挤密法的原理是采用一定的手段，通过振动、挤压使地基土体孔隙比减小，强度提高，达到地基处理的目的。

(1) 表层压实法 采用人工或机械夯实、机械碾压或振动对填土、湿陷性黄土、松散无粘性土等软弱或原来比较疏松表层土进行压实。也可采用分层回填压实加固。

适用于含水量接近于最佳含水量的浅层疏松粘性土；松散砂性土；湿陷性黄土及杂填土等。

(2) 重锤夯实法 利用重锤自由下落时的冲击能来夯击浅层土，使其表面形成一层较为均匀的硬壳层。

适用于无粘性土、杂填土、非饱和粘性土及湿陷性黄土。

(3) 强夯法 利用强大的夯击能，迫使深层土液化和动力固结，使土体密实，用以提高地基土的强度并降低其压缩性，消除土的湿陷性、胀缩性和液化性。

适用于碎石土、砂土、素填土、杂填土、低饱和度的粉土与粘性土及湿陷性黄土。

(4) 振冲挤密法 振冲挤密法一方面依靠振冲器的强力振动使饱和砂层发生液化，颗粒重新排列，孔隙比减小；另一方面依靠振冲器的水平振动力，形成垂直孔洞，在其中加入回填料，使砂层挤压密实。

适用于砂性土和小于 0.005mm 的粘粒含量低于 10% 的粘性土。

(5) 土桩与灰土桩法 是利用打入钢套管（或振动沉管、炸药爆破）在地基中成孔，通过挤压作用，使地基土变得密实，然后在孔中分层填入素土（或灰土）后夯实而成土桩（或灰土桩）。

适用于处理地下水位以上的湿陷性黄土、新近堆积黄土、素填土和杂填土。

(6) 砂桩 在松散砂土或人工填土中设置砂桩，能对周围土体产生挤密作用或同时产生振密作用。可以显著提高地基强度，改善地基的整体稳定性，并减小地基沉降量。

适用于处理松砂地基和杂填土地基。

(7) 爆破法 利用爆破产生振动使土体产生液化和变形，从而获得较大的密实度，用以提高地基承载力和减小沉降量。

适用于饱和净砂、非饱和但经灌水饱和的砂、粉土和湿陷性黄土。

1.2.3 排水固结法

其基本原理是软土地基在附加荷载的作用下，逐渐排出孔隙水，使孔隙比减小，产生固结变形。在这个过程中，随着土体超静孔隙水压力的逐渐消散，土的有效应力增加，地基抗剪强度相应增加，并使沉降提前完成或提高沉降速率。

排水固结法主要由排水和加压两个系统组成。排水可以利用天然土层本身的透水性，尤其是上海地区多夹砂薄层的特点，也可设置砂井、袋装砂井和塑料排水板之类的排水体。加压主要有地面堆载法、真空预压法和井点降水法。为加固软弱的粘性土，在一定条件下，采

用电渗排水井点也是合理而有效的。

(1) 堆载预压法 在建造建(构)筑物以前,通过临时堆填土石等方法对地基加载预压,达到预先完成部分或大部分地基沉降,并通过地基土固结提高地基承载力,然后撤除荷载,再建造建(构)筑物。

临时的预压堆载一般等于建(构)筑物的荷载,但为了减少由于次固结而产生的沉降,预压荷载也可大于建(构)筑物荷载,这称为超载预压。

适用于软粘土地基。

(2) 砂井法(包括袋装砂井、塑料排水带等) 在软粘土地基中,设置一系列砂井,在砂井之上铺设砂垫层或砂沟,人为地增加土层固结排水通道,缩短排水距离,从而加载固结,并加速强度增长。砂井法通常辅以堆载预压,称为砂井堆载预压法。

适用于透水性低的软弱粘性土,但对于泥炭土等有机质沉积物不适用。

(3) 真空预压法 在粘性土层上铺设砂垫层,然后用薄膜密封砂垫层,用真空泵对砂垫层及砂井抽气和抽水,使地下水位降低,同时在大气压力作用下加速地基固结。

适用于能在加固区形成(包括采取措施后形成)稳定负压边界条件的软土地基。

(4) 降低地下水位法 通过降低地下水位使土体中的孔隙水压力减小,从而增大有效应力,促进地基固结。

适用于地下水位接近底面而开挖深度不大的工程,特别适用于饱和粉砂、细砂地基。

(5) 电渗排水法 在土中插入金属电极并通以直流电,由于直流电场作用,土中的水从阳极流向阴极,然后将水从阴极排出,且不让水在阳极附近补充,借助电渗作用可逐渐排除土中水。在工程上常利用它降低粘性土中的含水量或降低地下水位来提高地基承载力或边坡的稳定性。

适用于饱和软粘土地基。

1.2.4 置换法

其原理是以砂、碎石等材料置换软土,与未加固部分形成复合地基,达到提高地基强度的目的。

(1) 振冲置换法(碎石桩法) 碎石桩法是利用一种单向或双向振动的振冲器,在粘性土中边喷高压水流边下沉成孔,然后边填入碎石边振实,形成碎石桩。桩体和原来的粘性土构成复合地基,从而达到提高地基承载力和减小沉降的目的。

适用于地基土的不排水抗剪强度大于 20kPa 的淤泥、淤泥质土、砂土、粉土、粘性土和人工填土等地基。对不排水强度小于 20kPa 的软土地基,采用碎石桩时须慎重。

(2) 石灰桩法 在软弱地基中利用机械或人工成孔,填入作为固化剂的生石灰(或生石灰与其他活性掺合料粉煤灰、煤渣等)并压实形成桩体,利用生石灰的吸水、膨胀、放热作用以及土与石灰的物理化学作用,改善桩体周围土体的物理化学性质,由于石灰与活性掺合料的化学反应导致桩体强度提高,桩体与土形成复合地基,达到地基加固的目的。

适用于软弱粘性土地基。

(3) 强夯置换法 对厚度小于 7m 的软弱土层,边夯边填碎石,形成深度 3~7m、直径为 2m 左右的碎石墩体,碎石墩与周围土体形成复合地基。

适用于软粘土地基。

(4) 水泥粉煤灰碎石桩法(CFG 桩法) 是将碎石、石屑、粉煤灰和少量水泥,加水拌和,用振动沉管桩机或其他成桩机具制成的一种具有一定粘结强度的桩。在桩顶铺设褥垫层,桩、桩间土和褥垫层一起形成复合地基。

适用于粘性土、粉土、砂土和已自重固结的素填土等地基。

1.2.5 加筋法

通过在土层中埋设强度较高的土工聚合物、拉筋、受力杆件等提高地基承载力、减小沉降、维持建(构)筑物或土坡稳定。

(1) 土工聚合物 利用土工聚合物的高强度、高韧性等力学性能,扩散土中应力,增大土体的抗拉强度,改善土体或构成加筋土以及各种复合土工结构。

适用于砂土、粘性土和软土,或用作反滤、排水和隔离材料。

(2) 加筋土 把抗拉能力很强的拉筋埋置在土层中,通过土颗粒和拉筋之间的摩擦力使拉筋和土体形成一个整体,用以提高土体的稳定性。

适用于人工填土的路堤和挡墙结构。

(3) 土层锚杆 土层锚杆是依赖于土层与锚固体之间的粘结强度来提供承载力的,它使用于一切需要将拉应力传递到稳定土体中去的工程结构,如边坡稳定、基坑围护的支护、地下结构抗浮、高耸结构抗倾覆等。

适用于一切需要将拉应力传递到稳定土体中去的工程。

(4) 土钉 土钉技术是在土体内放置一定长度和分布密度的土钉体,使其与土共同作用,用以弥补土体自身强度的不足。不仅提高了土体整体刚度,又弥补了土体的抗拉和抗剪强度低的弱点,显著提高了整体稳定性。

适用于开挖支护和天然边坡的加固。

(5) 树根桩法 在地基中沿不同方向,设置直径为 75~250mm 的小直径桩,可以是竖直桩,也可以是斜桩,形成如树根状的群桩,以支撑结构物,或用以挡土,稳定边坡。

适用于软弱粘性土和杂填土地基。

1.2.6 胶结法

在软弱地基中部分土体内掺入水泥、水泥砂浆以及石灰等固化剂,形成加固体,与未加固部分形成复合地基,以提高地基承载力和减小沉降。

(1) 注浆法 其原理是用压力泵把水泥或其他化学浆液注入土体,以达到提高地基承载力、减小沉降、防渗、堵漏等目的。

适用于处理岩基、砂土、粉土、淤泥质土、粉质粘土、粘土和一般人工填土,也可加固暗浜和在托换工程中应用。

(2) 高压喷射注浆法 将带有特殊喷嘴的注浆管,通过钻孔置入要处理土层的预定深度,然后将水泥浆液以高压冲切土体,在喷射浆液的同时,以一定的速度旋转、提升,形成水泥土圆柱体;若喷嘴提升而不旋转,则形成墙状固结体。该法可以提高地基承载力、减少沉降、防止砂土液化、管涌和基坑隆起。

适用于淤泥、淤泥质土、粘性土、粉土、黄土、砂土、人工填土等地基。对既有建(构)筑物可进行托换加固。

(3) 水泥土搅拌法 利用水泥、石灰或其他材料作为固化剂的主剂,通过特别的深层

搅拌机械，在地基深处就地将软土和固化剂（水泥或石灰的浆液或粉体）强制搅拌，形成坚硬的拌和柱体，与原地层共同形成复合地基。

适用于淤泥、淤泥质土、粉土和含水量较高且地基承载力特征值不大于 120kPa 的粘性土地基。

1.2.7 冷热处理法

(1) 冻结法 通过人工冷却，使地基温度降低到孔隙水的冰点以下，使之冷却，从而具有理想的截水性能和较高的承载能力。

适用于饱和的砂土或软粘土地层中的临时处理措施。

(2) 烧结法 通过渗入压缩的热空气和燃烧物，并依靠热传导，将细颗粒土加热到 100℃以上，从而增加土的强度，减小变形。

适用于非饱和粘性土、粉土和湿陷性黄土。

1.3 地基处理方法的选用原则

选用地基处理方法要力求做到安全适用、确保质量、经济合理、技术先进。

我国地域辽阔，工程地质和水文地质条件千变万化，各地施工机械条件、技术水平、经验积累，以及建筑材料品种、价格差异很大，在选用地基处理方法时一定要因地制宜。因地制宜原则很重要，需要反复强调。要充分发挥各地的优势，有效地利用地方资源。

地基处理的核心是处理方法的正确选择与实施。而对于某一具体工程来讲，在选择处理方法时需要综合考虑各种影响因素，如建（构）筑物的体型、刚度、结构受力体系、建筑材料和使用要求，荷载大小、分布和种类，基础类型、布置和埋深，基底压力、天然地基承载力、稳定安全系数、变形容许值，地基土的类别、加固深度、上部结构要求、周围环境条件、材料来源、施工工期、施工队伍技术素质与施工技术条件、设备状况和经济指标等。对地基条件复杂、需要应用多种处理方法的重大项目还要详细调查施工区内地形及地质成因、地基成层状况、软弱土层厚度、不均匀性和分布范围、持力层位置及状况、地下水情况及地基土的物理和力学性质；施工中需考虑对场地及邻近建（构）筑物可能产生的影响、占地大小、工期及用料等。只有综合分析上述因素，坚持技术先进、经济合理、安全适用、确保质量的原则拟定处理方案，才能获得最佳的处理效果。

地基处理方法很多，没有一种方法是万能的。对每一具体工程均应进行具体细致的分析，从地基条件、处理要求（处理后地基应达到的各项指标、处理的范围、工程进度等）、工程费用以及材料、机具来源等各方面进行综合考虑，以确定合适的地基处理方法。

地基处理方案的确定可按下列步骤进行：

(1) 搜集详细的工程地质、水文地质及地基基础的设计资料。

(2) 根据结构类型、荷载大小及使用要求，结合地形地貌、地层结构、土质条件、地下水特征、周围环境和相邻建（构）筑物等因素，初步选定几种可供考虑的地基处理方案。另外，在选择地基处理方案时，应同时考虑上部结构、基础和地基的共同作用；也可选用加强结构措施（如设置圈梁和沉降缝等）和处理地基相结合的方案。

(3) 对初步选定的各种地基处理方案，分别从处理效果、材料来源及消耗、机具条件、施工进度、环境影响等方面进行认真的技术经济分析和对比，根据安全可靠、施工方便、经济合理等原则，从而因地制宜地选择最佳的处理方法。值得注意的是，每一种处理方法都有

一定的适用范围、局限性和优缺点。必要时也可选择两种或多种地基处理方法组成的综合方案。

(4) 对已选定的地基处理方法，应按建（构）筑物重要性和场地复杂程度，可在有代表性的场地上进行相应的现场试验和试验性施工，并进行必要的测试以验算设计参数和检验处理效果。如达不到设计要求时，应查找原因、采取措施或修改设计。

地基处理设计程序参见图 1-1。

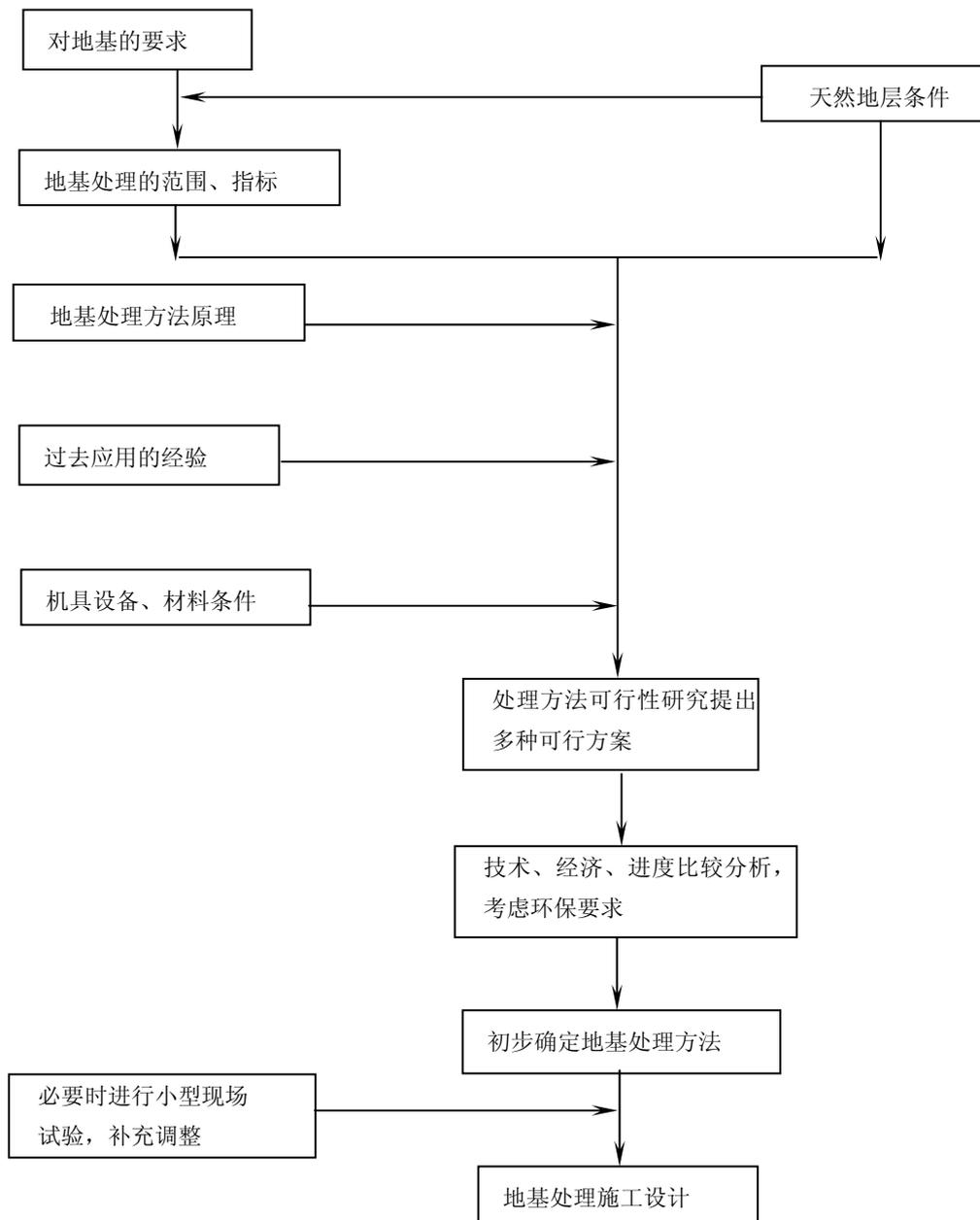


图 1-1 地基处理规划程序

1.4 地基处理工程的施工管理

1.4.1 地基处理工程的特点

- (1) 大部分地基处理方法的加固效果不是在施工结束后就能全部发挥；
- (2) 每一项地基处理工程都有它的特殊性；

(3) 地基处理是隐蔽工程，很难直接检验其加固效果。

1.4.2 地基处理工程的施工管理

对于选定的地基处理方案，在设计完成之后，必须严格施工管理，否则会丧失良好处理方案的优越性。在施工的各个环节的质量标准要严格掌握，施工时间要安排合理，因为地基加固后的强度提高往往需要有一定的时间。随着时间的延长，强度还会增长，模量也必然会提高，可通过调整施工速度，确保地基的稳定性和安全度。

在地基处理施工过程中，只让现场人员了解如何施工是不够的，还必须使他们很好地了解所采用的地基处理方法的原理、技术标准和质量要求，经常进行施工质量和处理效果的检验，使施工符合规范要求，以保证施工质量。一般在地基处理施工前、施工中和施工后，都要对被加固的地基进行现场测试，以便及时了解地基土加固效果，修正设计方案，调整施工进度。有时为了获得某些施工参数，还必须于施工前在现场进行地基处理的原位试验。有时在地基加固前，为了保证邻近建（构）筑物的安全，还要对邻近建（构）筑物或地下设施进行沉降和裂缝等监测。

1.5 地基处理技术的最新发展

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 2000 多年以前。随着地基处理工程实践的发展，人们在改造土的工程性质的同时，不断丰富了对土的特性研究和认识，从而又进一步推动了地基处理技术和方法的更新，因而成为岩土工程领域中一个具有非常强的生命力的分支。

随着我国土木工程建设持续、高速的发展，地基处理技术在我国得到了飞速发展。老方法得到改进，新方法不断涌现。高压喷射注浆法、振冲法、强夯法、深层搅拌法等许多地基处理技术从国外引进后，在我国的工程实践中得到较大的发展。近二十年来，在工程实践中还发展了许多新的地基处理技术，如真空预压法、CFG 桩刚性桩复合地基法、夯实水泥土桩法等，尤其是近年来的发展给人以耳目一新的感觉。

表 1-1 是几种主要地基处理方法在我国开始应用的时间。一些成熟的常用方法有了进一步发展，不少新的方法出现并在技术上日渐成熟，有的已进入实用阶段。

表 1-1 部分地基处理方法在我国应用的最早年份

地	普	真	袋	塑	砂	土	振	强	高	浆	粉	土	强	刚	锚	掏	顶	树	沉	石
基	通	空	装	料	桩	桩	冲	夯	压	液	体	工	夯	性	杆	土	升	根	管	灰
处	砂	预	砂	排	法	法	法	法	喷	深	深	合	置	桩	静	纠	纠	桩	碎	桩
理	井	压	井	水		及			射	层	层	成	换	复	压	倾	倾	法	石	法
方	法	法	法	带		灰			注	搅	搅	材	法	合	桩	法		桩		
法				法		土			浆	拌	拌	料		地				法		
						桩			法	法	法	法		基						
						法								法						

年份	50年代	1980年	70年代	1981	50年代	50年代中	1977年	1978年	1972年	1977年	1983年	70年代	1988年	1981年	1982年	60年代初	1986年	1981年	1987年	1983年
----	------	-------	------	------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

地基处理技术最新发展反映在地基处理机械、材料、地基处理设计计算理论、施工工艺、现场监测技术、以及地基处理新方法的不断发展和多种地基处理方法综合应用等各个方面。

为了满足日益发展的地基处理工程的需要，近些年来地基处理机械发展很快。例如我国强夯机械向系列化、标准化发展。深层搅拌机型号增加，除单轴深层搅拌机和固定双轴搅拌机，浆液喷射和粉体喷射深层搅拌机外，近年来研制成功了可变距双轴深层搅拌机、多头深层搅拌机和可同时喷浆和喷粉的深层搅拌机，搅拌深度已从 14m 提高到 25m，成桩直径也在扩大，海上深层搅拌机已投入使用。高压喷射注浆机械发展很快，出现了不少新的高压喷射设备，喷射压力提高，增加了对地层的冲切搅拌能力。水平旋喷机械的成功，使高压喷射注浆法进一步扩大了应用范围。应用于排水固结法的塑料排水带插带机的出现大大提高了工作效率，塑料排水带插带深度已超过 30m。振冲器最大功率已达 135kW，振密砂层达 26m。干法振动成孔器研制成功，使干法振动碎石桩技术得到应用，地基处理机械的发展使地基处理能力得到较大的提高。

新材料的应用，不仅使一些原有的地基处理方法效能提高，而且产生了一些新的地基处理方法。土工合成加筋材料的发展促进了加筋土法的发展。轻质土工合成材料 EPS 作为填土材料形成 EPS 超轻质料填土法。灌浆材料如超细水泥、粉煤灰水泥浆材、硅粉水泥浆材等水泥系浆材和化学浆材的发展有效地扩大了灌浆法的应用范围，满足了工程需要。近年来，地基处理还同工业废料的利用结合起来。粉煤灰垫层、石灰粉煤灰桩复合地基、钢渣桩复合地基、渣土桩复合地基等的应用取得了较好的社会效益和经济效益。

地基处理的工程实践促进了地基处理计算理论的发展。复合地基理论随着地基处理技术的发展得到发展，逐步形成了复合地基承载力和沉降计算理论。除复合地基理论外，对强夯加固地基的机理、强夯法加固深度、砂井法非理想井计算理论，真空预压法计算理论方面都有不少新的研究成果。地基处理理论的发展又反过来推动地基处理技术新的进步。

各项地基处理方法的施工工艺近年来也得到不断的改进和提高，不仅有效地保证和提高了施工质量，提高了工效，而且扩大了应用范围。真空预压法施工工艺的改进使该技术应用得到推广，石灰桩施工工艺的改进使石灰桩法走向成熟，长螺旋钻孔工艺使 CFG 桩刚性桩复合地基法在全国得到大面积的推广，经济效益和社会效益显著。

地基处理的监测日益得到人们的重视。在地基处理施工过程中和施工后进行监测，用以施工指导、检查处理效果、检验设计参数。监测手段愈来愈多，监测精度日益提高。地基处理逐步实行信息化施工，有效地保证了施工质量，取得了较好的经济效益。

近年来，发展了许多新的地基处理方法。例如强夯置换碎石桩（墩）法较之强夯法可提高地基承载力，减少沉降，而且应用范围扩大到软粘土。由水泥、粉煤灰、碎石形成的 CFG 桩，与桩间土、褥垫层形成的刚性桩复合地基，可大幅度提高地基承载力，复合地基的沉降也很小。

地基处理技术的发展还表现在多种地基处理方法综合应用水平的提高。如真空预压法和

堆载预压法的综合应用、石灰桩和深层搅拌桩水泥土桩多元复合地基的应用、CFG 桩和深层搅拌桩水泥土桩多元复合地基的应用、CFG 桩和石灰桩多元复合地基的应用等，重视多种地基处理方法的综合应用可取得较好的技术效果、经济效益和社会效益。

目前地基处理已成为土力学与岩土工程领域的一个主要分支学科，国际土力学与岩土工程协会下有专门的地基处理学术委员会。中国土力学与岩土工程学会 1984 年成立了地基处理学术委员会，并于 1986、1989、1992、1995、1997、2000 年分别召开了六届全国地基处理学术讨论会。1988 年编著出版了《地基处理手册》，2000 年修订出版了《地基处理手册》（第二版），1990 年又开始出版了《地基处理》杂志，提供了推广和交流地基处理新技术的园地。我国建设部已发布了《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-91），2002 年又修订出版了《建筑地基处理技术规范》（JGJ79-2002）。交通部 1997 年发布了《公路软土地基路堤设计与施工技术规范》（JTJ 017-96），对公路工程中软土地基处理设计、施工起到了重要指导作用。此外，对湿陷性黄土、膨胀土等特殊土也出版了相应的规程。

总之，地基处理已成为土木工程建设中的热点之一，它已得到工程勘察、设计、施工、监理、教学、科研和管理部门的重视。地基处理技术的进步已产生了巨大的经济效益和社会效益，我国的地基处理技术总体上已处于国际先进水平。

地基处理领域是土木工程中最为活跃的领域之一，非常具有挑战性。复杂的地基以及现代土木工程对地基日益严格的要求，给我们广大的土木工程师，特别是岩土工程师提出了一个又一个新课题，让我们面对挑战，勇攀高峰，促进地基处理技术更大的发展。