

不良条件管道工程

设计与施工手册

柳金海 主编



中国物价出版社

不良条件管道工程设计 与施工手册

柳金海 主编

中国物价出版社

(京)新登字第098号

内 容 提 要

干线管道工程投资大、重要性高,一旦发生事故,后果严重。随着我国建设事业的发展 and 国土、资源的综合利用,干线管网工程必将有更快的发展。本手册对各种不良场地管道工程设计与施工应采取的技术措施作了详细的介绍,并对各种管网通过的场地的特征、特点、主要不良地质因素之所在,作了具体的记述。主要章节内容有:干线管道设计与施工的基本知识,松软土地区管道地基的处理,饱和土地区的管道工程,湿陷性黄土地区的管道工程,膨胀土地区的管道工程,冻土地区管道工程的冻害及抗冻设防,斜坡区域管道工程设计与施工,管道震害与抗震设防,障碍场地管道工程的跨越和穿过,水域管道工程的设计与施工,顶管工程的设计与实施,冬期和雨期管道施工等。

本手册供管道工程设计人员、施工人员、运营管理人员使用,也可作为管道工程专业大中专教学参考读物。

不良条件管道工程设计与施工手册

柳金海 主编

*

中国物价出版社出版发行

新华书店经销

河北省蔚县印刷厂印刷

*

787×1092毫米 16开 26¹/₈ 印张 634千字

1992年11月第1版 1992年11月第一次印刷

印数: 1—12,000册

ISBN7-80070-116-6/TB·2

定价: 23.00元

前 言

在改革开放方针指引下，我国社会主义经济建设发展更加迅速。各个经济开发区对煤气、热力、输油、给水、排水等管道工程的分布程度和工程质量提出了越来越高的要求。而且，其规模越来越大，干线管网已由从前的几公里、几十公里，发展到今天的几百公里、上千公里。今后，随着我国建设事业的发展 and 国土、资源的综合利用，干线管网工程也必将有更大的发展。

干线管道工程愈长，通过的各种不良场地也愈复杂。干线管道工程的特点是投资大、重要性高，一旦发生事故，后果严重。所以，如何在设计、施工中采取有针对性的技术措施，以保障管道工程建成后能安全稳定、经济地运行，是管道工程技术人员必须在设计和施工中解决的主要问题。作者根据三十年来从事管道工程技术工作的实践，深感场地条件与管道工程的关系至为密切。但鉴于目前我国对管道工程的多种不良场地尚无专门的规范、规程可资遵循，也无这方面的专著可供借鉴，因此，给管道工程技术人员的日常工作造成很多不便。为了满足这一需要，作者不揣浅陋，将多年积累的资料，结合工作实践经验，编写成本手册。本书若能为不良条件管道工程设计与施工工作提供方便，就是作者最大的欣慰了。

由于管道工程本身是由多个专业构成，各种场地的性质测定与处理又是地质工程与地基、基础工程的综合技术，要全面系统地介绍实属不易，故本手册编写的原则是：

1. 各种管道专业本身的内容，一般专著较多，不作深入介绍；
2. 场地的特征、特点，主要的不良地质因素之所在，则作较为详细的论述；
3. 各种不良场地管道工程设计与施工应采取的技术措施，作为重点介绍内容，尽量达到安全、经济、实用的要求。

本手册从选题到成卷，历时多年，一直承蒙强十渤高级工程师的大力支持和悉心指导，提出了很多宝贵意见，使作者受益匪浅，同时也使本手册的质量得以提高。本书在编写过程中还得到航空航天工业部零一四中心有关领导及同志的大力支持和帮助，值此出版之际，谨向编辑与关心本书出版的同志深表感谢。

本书在编写过程中，参阅了很多文献，除书末所附的参考书目外，因受篇幅所限，或由于没有公开发表，恕未能一一列出，敬希见谅。

本书内容涉及的专业范围较广，为了统一使用法定计量单位，对大部分图表、公式进行了计量单位整理。限于作者的水平，谬误之处在所难免，诚望读者和同行批评指正。

主编 柳金海

1991年8月洛阳

目 录

第一章 地质与地基	(1)	第二节 湿陷性黄土的基本性质	(90)
第一节 工程地质与管道工程的关系	(1)	第三节 湿陷性黄土地基的评价	(92)
第二节 地基土的分类及其地质现象	(2)	第四节 黄土的湿陷机理和湿陷性黄土地区管道的湿陷试验与调查	(97)
第三节 土的物理性质	(6)	第五节 湿陷性黄土地区管道工程的勘测	(100)
第四节 管道基础的种类及地基土的加固	(10)	第六节 湿陷性黄土地区管道工程的设计技术措施	(101)
第二章 干线管道设计基本知识 ..	(15)	第七节 湿陷性黄土地区管道工程的施工及维护	(106)
第一节 干线管道工程的规划、设计及施工基础资料	(15)	第七章 膨胀土地区的管道工程 ..	(109)
第二节 干线管道布线的基本原则及类型	(16)	第一节 膨胀土的分布及特性	(109)
第三节 室外管网的综合布置	(21)	第二节 膨胀土的勘察和判别与评价	(115)
第四节 管道的静荷载	(25)	第三节 影响膨胀土胀缩的主要因素	(119)
第五节 地面的活荷载	(28)	第四节 膨胀土地区管道工程的技术措施	(120)
第六节 管道的轴向荷载	(34)	第八章 冻土地区管道工程的冻害及抗冻设防	(124)
第七节 管道的自然荷载	(38)	第一节 我国冻土的分类和分布	(124)
第八节 荷载组合	(40)	第二节 冻害及其对管道工程的影响	(131)
第三章 干线管道施工基本知识 ..	(41)	第三节 管道工程防冻害的技术措施	(137)
第一节 施工前的准备工作及放线	(41)	第四节 管道工程地基基础的热稳定性计算 ..	(143)
第二节 管道沟槽断面的选择与计算	(43)	第五节 冻土地区地上敷设管线的防冻计算 ..	(154)
第三节 管沟的开挖与回填	(49)	第六节 冻土地区埋地管线的防冻计算	(158)
第四节 沟槽的支撑	(50)	第九章 管道工程的防腐	(162)
第五节 管道下管方式的选择与实施	(53)	第一节 腐蚀的机理与类型	(162)
第四章 松软土地区管道地基的处理	(55)	第二节 材料的耐蚀性能及金属防腐的基本方法	(164)
第一节 天然松软土的特性	(55)	第三节 管道防腐蚀工程涂装前的表面处理 ..	(167)
第二节 人工填土的特性	(57)	第四节 涂料的分类和命名	(172)
第三节 松软土地基的勘测与设计施工技术措施	(61)	第五节 涂料的选用	(176)
第四节 松软土地区管道工程的地基处理	(62)	第六节 涂料的涂覆与干燥	(181)
第五章 饱和土地区的管道工程 ..	(66)	第七节 埋地钢管的防腐	(183)
第一节 饱和土的含义及特征	(66)	第八节 地下金属管线的阴极保护	(192)
第二节 流砂地区的管道工程	(67)	第九节 牺牲阳极防腐蚀保护	(200)
第三节 表露饱和土(沼泽地)管道的沉降计算	(70)	第十章 斜坡区域管道工程的设计与施工	(206)
第四节 沼泽地管道工程的施工	(72)	第一节 斜坡区域管道工程特点	(206)
第五节 饱和土壤地区管道地基的一般处理方法	(74)	第二节 滑坡的定义及术语	(207)
第六节 地下水的明沟排除及降低地下水位 ..	(76)	第三节 形成滑坡的地质条件和滑坡地带的特征	(208)
第六章 湿陷性黄土地区的管道工程	(85)	第四节 滑坡防治的一般原则与方法	(210)
第一节 湿陷性黄土概述	(85)		

第五节 发育滑坡体对管道作用力的稳定性计算..... (212)	第五节 水下管道工程的施工..... (321)
第六节 斜坡区域管道工程的选线及技术措施..... (215)	第十四章 顶管工程的设计与实施..... (328)
第七节 异形管支墩的设置条件和类型..... (218)	第一节 顶管工程概述..... (328)
第八节 作用于异形管上的力..... (219)	第二节 顶管施工设计的基础资料..... (332)
第九节 异形管支墩所受力的计算..... (223)	第三节 顶管工作坑及附属设施..... (335)
第十节 异形管支墩尺寸的计算..... (225)	第四节 顶管施工工艺设计..... (342)
第十一章 管道震害与抗震设防... (230)	第五节 普通顶管法的实施..... (349)
第一节 地震概念简述..... (230)	第六节 水下顶管..... (350)
第二节 场地及地基土类别的划分..... (233)	第七节 铁路下严格控制地面变形的顶管..... (353)
第三节 地震对管道工程的作用效应..... (236)	第八节 顶管工程的测量监督及误差校正..... (356)
第四节 砂土的地震液化及预防..... (240)	第十五章 冬期和雨期施工... (360)
第五节 管道工程的震害及其原因分析..... (244)	第一节 冬期的定义、特点和施工要求..... (360)
第六节 管道工程抗震设计的基本原则——概念设计..... (246)	第二节 冬期施工的准备..... (268)
第七节 埋地管道的抗震验算..... (248)	第三节 土方工程的防冻..... (369)
第八节 架空管道支架的抗震稳定性计算..... (252)	第四节 冻土的开挖与回填..... (377)
第十二章 障碍场地管道工程的跨越和穿过... (258)	第五节 混凝土基础工程..... (381)
第一节 概述..... (258)	第六节 管道工程冬期施工的技术措施..... (385)
第二节 管道最大允许跨度的计算..... (259)	第七节 雨期施工..... (387)
第三节 纵梁式管架跨越..... (276)	附录..... (391)
第四节 吊索式管架跨越..... (276)	附表1 习用非法定计量单位与法定计量单位的换算关系示表(示例)..... (393)
第五节 悬索吊架跨越..... (280)	附表2 气象资料..... (394)
第六节 加强管道..... (283)	附表3 地温资料..... (398)
第七节 自锚式斜拉杆跨越..... (237)	附表4 管道系数表..... (401)
第八节 拱形管道..... (288)	附表5 管子单位长度计算重量表..... (403)
第九节 障碍场地管道穿过..... (304)	附表6 碳素钢弹性模数及线膨胀系数..... (403)
第十三章 水域管道工程的设计与施工... (308)	附表7 钢材额定许用应力 $[\sigma]$ 表..... (404)
第一节 水域管道工程设计施工基础资料及选线原则..... (308)	附表8 管材的弹性模数..... (404)
第二节 水上跨越管道的设计与施工..... (308)	附表9 原规范混凝土标号与新规范混凝土强度等级换算表..... (404)
第三节 水下管道的设计..... (312)	附表10 常用建筑材料的导热系数 λ (404)
第四节 水下铺管的管道稳定计算..... (317)	附表11 保温材料及制品性能表..... (406)
	附表12 最小不淤流速值..... (406)
	主要参考书目... (407)

第一章 地质与地基

第一节 工程地质与管道工程的关系

各种室外干线管道工程及其附属的构筑物都是坐落于地壳上的。因此管道工程除需要熟练地运用管道工程本身的专业知识外，几乎处处与工程地质发生密切的关系，因为管道工程的全部荷载都由它下面的地层来承担。承受管道工程荷载的土层或石层称为地基。因此，地壳表层的土（石）层地质构造如何，它的坚固稳定性怎样，也就在一定程度上影响了管道工程的稳定性与正常运行。

由于大自然的作用和人为活动的结果，地壳表层的物质组成、工程特性以及自然环境，各处是不一样的。因而其坚固稳定程度也极不相同。另外，地壳不断遭受各种自然地质作用而发生动力变化，这些变化也会影响到管道的稳定性。而且，管道工程一旦施工，它反过来又会影响地质条件的变化。因而为使建成后的管道工程安全稳定地运行，就使这一问题的解决和实现变得更为复杂。故管道工程从设计到施工，直至运行各个环节都应充分地考虑和估计到这些变化，并确定应该采取的措施，以保证管道工程在一定的条件范围变化下运行的稳定性和耐久性。所以，对于管道工程的专业人员来说，如不了解工程地质的重要性，或忽视工程地质工作，将在建设和运行中难免发生问题，甚至出现事故。事实上很多管道工程出现事故，由于管道工艺本身设计和施工上的错误远少于对地质方面问题的忽略。例如黄土湿陷，边坡的崩塌，这些都应属于地质问题范畴。为了避免发生这类问题，在管道工程设计和施工之前必须充分了解和研究地基岩层的成因、构造，或可能发生的影响场地稳定性的不良地质现象（如滑坡、地震等），从而对场地的工程地质作出正确的评价，并采取相应的技术对策。这样不但能使工程质量得到保证和提高，而且往往会使工程费用减少。

管道工程与铁路、公路、电缆等工程一样，是线性工程中的一种。管道地基也就是管道工程下部的土壤承力层，它的主要作用是承受管道工程的管材、介质、支撑结构等的重量，承受管道内力的作用，以及外界自然力的作用等荷载或作用力。管道工程与其它线性工程相比，又有其自己独特的性能及要求。管道是输送介质的，这些介质就温度来说，有高低温之差；就压力来说有高压、中压、低压的区别。这些条件又对场地产生了新的影响，如冻土的热融，黄土的湿陷，在管道工程的不利因素作用下又会对场地产生不良影响。因此认真地研究管道与场地的关系是搞好管道工程建设必不可少的一个重要环节。

在管道工程的建设中，管道线路的平面和立面总是力图以直线方式铺设，但是由于地形的起伏、地物的障碍，以及管道工程工艺本身的要求，总不免要呈现一些弯曲状态，因此，就总的工程评价来说，平地比坡地施工简单，运行管理也较为方便；原土比回填杂土稳定，处置起来也较为单纯和容易。

为了使管道工程在建设和运行中能够保持稳定和安全，以下几个工程地质问题，在工

程地质勘察中必须勘察清楚。

一、区域稳定性

区域稳定性也就是对管道工程所在区域进行综合定性，是管道工程建设中首先必须注意的问题，它直接影响着管道工程的安全和造价，特别是在以前没有进行过大的工程建设的新区更应注意。所谓区域稳定性即该区域是属于何种地质土层，如冻土、膨胀土等。

二、地基稳定性

管道稳定性的破坏，在很大程度上与地基的稳定性有关，如松软土管道地基的压缩变形能引起管道的沉陷、倾斜、甚至断裂。

三、地基的施工条件和使用条件

这一问题经常遇到的现象是坑槽涌水、基槽（坑）边坡及槽底的稳定性，基槽（坑）流砂，黄土湿陷等。在地下水埋藏浅的地方，管沟开挖涌水是施工中的一个主要问题，而在饱和土地区流砂的坍塌对基槽的危害也很大，在开挖时应采取特殊的防护措施，这些在工程地质勘测时都必须查清楚，以便安全顺利的施工。对湿陷性黄土施工开挖较为方便，但在运行中一旦漏水则会形成事故，因而不同的土质则应采用不同的技术措施。

四、边坡稳定问题

在斜坡地区进行管道施工时，边坡稳定是一个重要的工程地质问题。管道工程的兴建对边坡的自然状态进行了破坏和扰动，管道重量及外力的施加又使边坡增加了外荷载，使原来处于稳定的边坡增加了不稳定的因素，使原来处于稳定状态的滑坡地区则会产生新的滑坡。因而在斜坡地区兴建管道工程时，必须对这种工程地质做出评价，对不稳定地段提出相应的工程技术措施。

五、地质构造的均匀性

在山区和填土地区，管道工程的施工，由于地表土层和裸露的岩石交替出现，在平原土层和杂填土层的块状分布形成了不同的地基土（岩）层，使它们的沉降性能产生了很大的差异，因而对大型管道工程来说，必须勘测清楚，并采取相应措施，特别是在块状分布的交界处更应慎重处理。

第二节 地基土的分类及其地质现象

土的分类是根据土的用途和土的各种性质的差异将其划分为一定的类别。土的合理分类名称可以大致判断土的工程特性，评价土作为地基的承载力的大小。

岩石和土的分类方法很多，不同部门根据其用途采用各自不同的分类方法。在管道工程中，土是作为承受其上的荷载的，因此它与房屋建筑工程对土的研究一样，是着眼于土的工程力学性质及其与地质成因关系来进行分类。

一、岩石的分类

1. 岩石按坚固性分类

岩石根据坚固性可按表1-1分为硬质岩石和软质岩石二类。

2. 岩石按风化程度分类

岩石在风化的作用下，使岩石在原地产生物理和化学的破坏作用。岩石经风化后使结构破坏，变成松散甚至碎粉状的物质，以致使它的强度降低，透水性增强，降低了地基的承载能力。

岩石坚固性的划分

表 1-1

岩石类别	代表性岩石
硬质岩石	花岗岩、花岗片麻岩、闪长岩、玄武岩、石灰岩、石英砂岩、石英岩、硅质砾岩等
软质岩石	页岩、粘土岩、绿泥石片岩、云母片岩等

注：除表列代表性岩石外，凡新鲜岩石的饱和单轴极限抗压强度大于或等于30兆帕者，可按硬质岩石考虑；小于30兆帕者，可按软质岩石考虑。

岩石风化程度的划分

表 1-2

风化分类	坚固性分类	
	硬质岩石	软质岩石
	风化特征	
微风化	<p>岩质新鲜，表面稍有风化迹象，锤击声清脆，并感觉锤有弹跳，裂隙少，岩块大于50cm，镐不能挖掘，岩心呈圆柱状</p>	<p>岩石结构、构造清楚。岩体层理清晰。裂隙较发育。岩块为20~50cm，裂隙中有风化物质填充。锤击没片理或页理裂开。用镐挖掘较难。岩心柱分裂，但可拼成圆柱状</p>
中等风化	<p>岩石的结构、构造清楚。岩体层理清晰。锤击声脆，微有弹跳感。裂隙较发育，岩块为20~50cm，裂隙中有少量充填物，用镐难挖掘。岩心柱分裂，但可拼成圆柱状</p>	<p>岩石结构、构造及岩体层理尚能辨认。裂隙很发育，岩块为2~20cm，碎块用手可折断。用镐较易挖掘。岩心柱破碎，不能拼成圆柱状</p>
强风化	<p>岩石结构、构造及岩体层理都不甚清晰。矿物成分已显著变化，有次生矿物。锤击为空壳声，碎块用手易折断，裂隙发育，岩块为2~20cm，用镐可以挖掘。岩心柱破碎，不能拼成圆柱状</p>	<p>岩石结构、构造不清楚。岩体层理不清晰。岩质已成疏松的土状，用镐易挖掘。岩心成碎屑状，可用手摇钻钻进</p>

土的工程分类

表 1-3

土的分类	土的级别	土的名称	开挖难易表现
一类土 (松软土)	I	砂；轻亚粘土；冲积砂土层；种植土；泥炭(淤泥)	能用铁锹挖掘
二类土 (普通土)	II	亚粘土；潮湿的黄土；夹有碎石卵石的砂；种植土；填筑土及轻亚粘土	铁锹挖掘，少许用镐翻松
三类土 (坚土)	III	软及中等密实粘土；重亚粘土；粗砾石；干黄土及含碎石、卵石的黄土；亚粘土；压实的填筑土	用镐，少许用锹挖掘，部分用撬棍
四类土 (砂、砾坚土)	IV	重粘土及含碎石、卵石的粘土；密实的黄土；砂土	整个用镐及撬棍，然后用锹挖掘，部分用楔子及大锤
五类土 (软石)	V~VI	硬石炭纪粘土；中等密实的灰岩；泥炭岩；白垩土	用镐或撬棍大锤挖掘，部分使用爆破方法
六类土 (次岩石)	VII~X	泥岩；砂岩；砾岩；坚实的页岩；泥灰岩；密实的石灰岩；风化花岗岩；片麻岩	用爆破方法开挖，部分用风镐
七类土 (坚石)	X~XII	大理石；辉绿岩；粗、中粒花岗岩；坚实的白云岩；砂岩；砾岩；片麻岩；石灰岩；风化痕迹的安山岩；玄武岩	用爆破方法开挖
八类土 (特坚石)	XIII~XIV	安山岩；玄武岩；花岗片麻岩；坚实的细粗花岗岩；闪长岩；石英岩；辉长岩；光绿岩	用爆破方法开挖

在建筑工程地质勘察工作中，一般根据岩石由于风化所造成的特征，包括矿物变异，结

构和构造、坚硬程度以及可挖掘性等，将岩石的风化程度划分为微风化、中等风化和强风化三等，见表1-2。

3. 按土的开挖难易程度分类

在土石方工程施工中，常按土的坚硬程度、开挖难易，将土石分为8类16级，见表1-3。

建筑场地土的分类是基于地基在承受荷载后的性能变化进行的，其分类方法有：

(1) 根据场地土的地质成因可分为：残积土、坡积土、冲积土等，见表1-4。

土的主要成因类型及其特征

表 1-4

成因类型	堆积方式及条件	堆积物特征
残积	岩石经风化作用而残留在原地的碎屑堆积物	碎屑物从地表向深处由细变粗，其成分与母岩相关，一般不具层理，碎块呈棱角状，土质不均，具有较大孔隙，厚度在山丘顶部较薄，低洼处较厚
坡积	由雨水或雪水沿斜坡搬运及由本身的重力作用堆积在斜坡上或坡脚处	碎屑物从坡上往下逐渐变细，分选性差，层理不明显，厚度变化较大，在斜坡较陡处厚度较薄，坡脚地段较厚
洪积	由暂时性洪流将山区或高地的大量风化碎屑物挟带至沟口或平缓地带堆积而成	颗粒具有一定的分选性，但往往在大颗粒间充填小颗粒，碎块多呈亚角状，洪积扇顶部颗粒较粗，层理紊乱呈交错状，透镜体及夹层较多，边缘处颗粒细，层理清楚
冲积	由长期的地表水流搬运，在河流的阶地、冲积平原、三角洲地带堆积而成	颗粒在河流上游较粗，向下游逐渐变细，分选性和磨圆度均好，层理清楚，厚度较稳定
淤积	在静水或缓慢的水流中沉积，并伴有生物化学作用而成	沉积物以粉粒~粘粒为主，且含有多量的有机质或盐类，一般土质松软，有时粉砂和粘性土呈交互层，具清晰的薄层理
冰积	由冰川或冰川融化后的冰下水进行搬运堆积而成	以巨大块石、碎石、砂、粘性土混合组成，一般分选性极差，无层理，但为冰水沉积时，常具斜层理。颗粒一般具棱角，巨大块石上常有冰川擦痕
风积	在干燥气候条件下，碎屑物被风吹起，降落堆积而成	主要由尘土或砂组成，一般颗粒较均匀，质纯，孔隙大，结构松散

(2) 根据堆积物的颗粒级配或塑性指数可分为：碎石土、砂土和粘性土。

碎石土 粒径大于2毫米的颗粒含量超过全重50%的土称为碎石土。根据颗粒级配及形状可按表1-5分为漂石、块石、卵石、碎石、圆砾和角砾。

碎 石 土 分 类

表 1-5

土的名称	颗粒形状	颗粒级配
漂石	圆形及亚圆形为主	粒径大于200毫米的颗粒超过全重50%
块石	棱角形为主	
卵石	圆形及亚圆形为主	粒径大于20毫米的颗粒超过全重50%
碎石	棱角形为主	
圆砾	圆形及亚圆形为主	粒径大于2毫米的颗粒超过全重50%
角砾	棱角形为主	

注：定名时，应根据粒径分组由大到小以最先符合者确定。

砂土 粒径大于2毫米的颗粒含量不超过全重50%，且塑性指数 I_p 不大于3的土称为砂土。根据颗粒级配可按表1-6分为砾砂、粗砂、中砂、细砂和粉砂。

砂 土 的 分 类

表 1-6

土 的 名 称	粒 组 含 量
砾 砂	粒径大于2mm的颗粒占全重25~50%
粗 砂	粒径大于0.5mm的颗粒超过全重50%
中 砂	粒径大于0.25mm的颗粒超过全重50%
细 砂	粒径大于0.075mm的颗粒超过全重85%
粉 砂	粒径大于0.075mm的颗粒超过全重50%

注：分类时应根据粒组含量由大到小以最先符合者确定。

粘性土 塑性指数 I_p 大于10的土称为粘性土。根据《建筑地基基础设计规范》(GBJ 7-89)中塑性指数 I_p 的不同，可进一步区分为：粘土、粉质粘土两种，见表1-7。

粘 性 土 的 分 类

表 1-7

塑 性 指 数 I_p	土 的 名 称
$I_p > 17$	粘 土
$10 < I_p \leq 17$	粉质粘土

注：塑性指数由相应于76g圆锥体沉入土样中深度为10mm时测定的液限计算而得。

(3) 特殊性土 根据土的特性可分为：湿陷性黄土，膨胀土，冻土……。这类天然形成的特殊性土的分布存在着一定的规律性和区域性，因此也称为区域特殊性土。

由于土的类别不同，性质各异，因此必须在勘察阶段将场地土的类别鉴定准确，以便在设计、施工和运行中采取有效的技术措施。

二、工程地质现象

工程动力地质作用是物理地质作用及工程地质作用的总称，它可以概括为两大主要内容：一是与建筑工程有关的岩石与土的工程地质性能，二是在建筑区内的各种工程动力地质作用和现象对建筑工程可能造成的危害。例如地震是一种自然的地质作用，滑坡是斜坡地区常见的地质现象，这些都会给管道工程带来灾害。

各种物理地质作用是在一定的条件下产生的，如地震与地球的构造和运动有关。膨胀土的膨胀除有膨胀土存在外，还必须有水的存在，在水的渗透浸入这种物理作用下才会发生膨胀。自然界中的工程动力地质作用和现象，种类繁多，性质复杂。就其成因而言，主要是由于作用在地球上的各种力引起的。工程动力地质作用、现象的分类见表1-8。

地质现象以是否有人类活动的参与做标准。工程动力地质作用和现象可分为三大类：

第一类 物理地质作用和现象。如火山爆发，自然地震，它们的发生完全受自然力控制，丝毫没有人类活动的影响和参与。

第二类 自然—工程地质作用和现象。此类地质作用及现象的发生和发展都曾受到了人类活动的影响，其发生发展的因素既有自然的，也有人为的因素，可以说是第一类和第三类地质现象中间的混合类，如斜坡开挖引起的滑坡现象。

第三类 工程地质作用和现象。此类现象完全由人类的活动引起，如水库地震、地面

沉降等。

工程动力地质作用、现象的分类

表 1-8

地 质 作 用	地 质 现 象
地表水作用(海、湖、水库及暂时性水流)	海、湖、水库边岸的冲刷与破坏河岸的冲刷与破坏斜坡和沟谷的冲刷
山区河流的洪水	泥石流
地表、地下水的作用	沼泽, 湿陷, 岩溶
地下水的作用	流砂、潜蚀现象
重力作用	滑坡、崩塌
风的作用	吹蚀和吹积
岩石的冻结与融化	热溶、冻胀、冰椎
岩石内部的作用	膨胀, 收缩, 疏松
地球内力的作用	地 震
人的工程活动及生产活动的作用	开发固体矿床对良田的破坏, 抽吸石油、天然气、地下水所引起的地面沉降, 地区的浸没与淹没, 灌区土壤次生盐碱化等

第三节 土的物理性质

土是连续、坚固的岩石在风化的作用下形成大小悬殊的颗粒, 经过不同的搬运方式, 在各种自然环境中生成的沉积物, 因此土是由颗粒(固相)、水及其溶解物质(液相)和气(气相)所组成的三相体系。土的三相组成物质的性质、相对含量以及土的结构构造等各种因素, 必然在土的轻重、松密、干湿、软硬等一系列物理性质和状态上有不同的反

土 粒 粒 组 的 划 分

表 1-9

粒 组 名 称		粒 径 范 围 (毫 米)	一 般 特 征
漂石或块石颗粒 卵石或碎石颗粒		>200 200~20	透水性很大, 无粘性, 无毛细水
圆砾或角砾颗粒	粗	20~10	透水性大, 无粘性, 毛细水上升高度不超过粒径大小
	中	10~5	
	细	5~2	
砂 粒	粗	2~0.5	易透水, 当混入云母等杂质时透水性减小, 而压缩性增加; 无粘性, 遇水不膨胀, 干燥时松散; 毛细水上升高度不大, 随粒径变小而增大
	中	0.5~0.25	
	细	0.25~0.1	
	极细	0.1~0.05	
粉 粒	粗	0.05~0.01	透水性小; 湿时稍有粘性, 遇水膨胀小, 干时稍有收缩; 毛细水上升高度较大较快, 极易出现冻胀现象
	细	0.01~0.005	
粘 粒		<0.005	透水性很小; 湿时有粘性、可塑性, 遇水膨胀大, 干时收缩显著; 毛细水上升高度大, 但速度较慢

- 注: 1. 漂石、卵石和圆砾颗粒均呈一定的磨圆形状(圆形或亚圆形); 块石、碎石和角砾颗粒都带有棱角。
 2. 粘粒或称粘土粒, 粉粒或称粉土粒。
 3. 粘粒的粒径上限也有采用0.002毫米的。

映。土的物理性质又在一定程度上决定了它的力学性质，所以物理性质是土的基本工程特性。

1. 土中的固体颗粒

(1) 土的固体颗粒组成

土的固体颗粒（土粒）的大小形状、矿物成分及其组成情况，是决定土的物理力学性质的重要因素。例如土的性质随着颗粒粒径的变细，可由无粘性变化到有粘性，由透水性大变成透水性小等一系列变化。表1-9是一种常用的土粒粒组的划分方法及一般特性。

(2) 土粒的矿物成分

土粒的矿物成分主要决定于母岩的成分及其所经受的风化作用，不同的物质成分对土的性质有着不同的影响。如蒙脱石含量较大的土具有强的吸水性，因而当土中的水分发生变化时土体就会膨胀或收缩；高岭石的亲水性远较蒙脱石差，因此，当土体中的水分发生变化时，土体的体积变化就较小。

2. 土中的水

在自然条件下土中总是含水的，土中的水可以处于气态、液态和固态。土中的细粒土越多，即土的分散度越大，水对土的性质的影响也愈大，即使是同一种组成状态的土，水在土中以不同的物态或数量存在，也将明显的改变着土的物理力学性能。如含有固态水的冻土是一种抗压强度很高的土体，而一旦当这种土体中的水变为液体时，土体的抗压强度则急剧下降。

3. 土中的气

土中的气体存在于土孔隙中未被水所占据的部位。在粗粒沉积物中常见到与大气相联通的空气，它对土的力学性质影响不大，在细粒土中则常存在与大气隔绝的封闭气泡，使土在外力作用下的弹性变形增加，透水性减小。

对于淤泥和泥炭含有机质的土，由于微生物（嫌气细菌）的分解作用，在土中蓄积了某种可燃气体（如硫化氢、甲烷等），使土体在自重作用下长期得不到压密，而形成高压缩性土。

4. 土的三相组成

前已述及，土体是由土粒（固相）、水（液相）和气（气相）三种物态组成的一个整体，为了便于以后叙述和计算，用图1-1所示的土的三相组成示意图来表示各部分之间的数量关系，图中符号的意义如下：

W_s ——土粒重量；

W_w ——土中水重量；

W ——土的总重量， $W = W_s + W_w$ ；

V_s ——土粒体积；

V_w ——土中水体积；

V_a ——土中气体积；

V_v ——土中孔隙体积， $V_v = V_w + V_a$ ；

V ——土的总体积， $V = V_w + V_a + V_s$ 。

(1) 土粒比重 G

土粒重量与同体积的4°C时的水的重量之比，即：

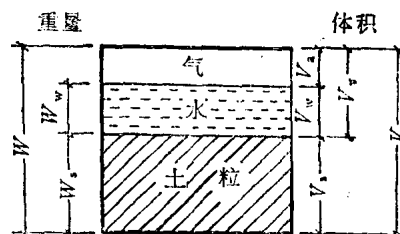


图 1-1 土的三相组成示意图

$$G = \frac{W_s}{V_s} \times \frac{1}{V_w} \quad (1-1)$$

式中 V_w ——水在4°C时单位体积的重量，等于9.81千牛/米³。

(2) 土的含水量 W

土中水的重量与土粒重量之比，称为土的含水量，以百分数计，即：

$$W = \frac{W_w}{W_s} \times 100\% \quad (1-2)$$

含水量 W 是标志土的湿度的一个重要物理指标。一般干的粗砂土 W 值接近于零，而饱和砂土可达40%，而饱和淤泥则可达60%或更大。一般说来，同一类土当含水量增大时，其土的强度则降低。

(3) 土的容重 γ

单位体积的土的重量称为土的容重 γ ，即：

$$\gamma = \frac{W}{V} \quad (1-3)$$

各种土壤的土粒比重见表1-10。各种土壤在天然状态下的比重见表1-11。

土粒比重参考表

表 1-10

土的名称	砂 土	一 般 粘 性 土		
		轻亚粘土	亚粘土	粘 土
土粒比重	2.65~2.69	2.70~2.71	2.72~2.73	2.74~2.76

常见的土的容重

表 1-11

土 的 种 类	容 重 (牛/米 ³)
植物性土	12000
砂 土	15000
粘土砂质、轻粘土及其黄土类粘土	16000
重亚粘土、大砾石、卵石及碎石 (粒径为15~40毫米)	17500
稀软粘土	18000
重粘土，直径90毫米以下的大卵石	19500

(4) 土的孔隙比 e 和孔隙率 n

土的孔隙比是土中孔隙体积与土粒体积之比，即：

$$e = \frac{V_v}{V_s} \quad (1-4)$$

土的孔隙率是土中孔隙所占体积与总体积之比，以百分数表示，即：

$$n = \frac{V_v}{V} \times 100\% \quad (1-5)$$

(5) 土的饱和度 S_r

土中被水充满的孔隙体积与孔隙总体积之比，称为土的饱和度，以百分率计，即：

$$S_r = \frac{V_w}{V_v} \times 100\% \quad (1-6)$$

砂土根据饱和度 S_r 的指标值分为稍湿、很湿和饱和三种湿度状态，其划分标准见表1-12。

砂土湿度状态的划分

表 1-12

砂土湿度状态	稍 湿	很 湿	饱 和
饱和度 S_r (%)	$S_r \leq 50$	$50 < S_r \leq 80$	$S_r > 80$

除了各类土这些通用的土的物理特性外，对于各种特殊类型的土还有其他特殊的物理特性，待以后各章涉及这些问题时分别论述。

5. 粘性土的界限含水量

由于三相体在土体中相互依存又相互制约的结果，使土体性质千变万化。在工程实践中，土中固体颗粒组成与液体组成的相互作用所表现的一系列性质上的变化，对地基、基础来说最有实际意义。土内的两个组成部分，以液体组成的变化表现得最明显、最活跃。土中所含的水在量和质上的变化都会引起土呈现出各种各样的性质。

土由于其含水量的不同，而分别处于固态、半固态、可塑状态和流动状态。所谓可塑状态，就是当粘性土在某含水量范围内，可用外力塑成任何形状而不发生裂纹，当外力移去后仍能保持既得的形状，土的这种性能叫做可塑性。粘性土由一种状态转到另一种状态的分界含水量，叫做界限含水量。它对粘性土的分类及工程性质的评价有重要的意义。图1-2是粘性土的物理状态与含水量关系的示意图。

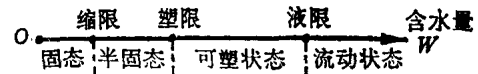


图 1-2 粘性土的物理状态与含水量关系

图中土由可塑状态转到流动状态的界限含水量叫做液限，也称塑性上限含水量或流限，用符号 W_l 表示；土由半固体状态转到可塑状态的界限含水量叫做塑限（也称塑性下限含水量），用符号 W_p 表示；土由半固体状态不断蒸发水分，则体积逐渐缩小，直到体积不再缩小时土的界限含水量叫缩限，用符号 W_s 表示。它们都以百分数表示。

6. 粘性土的塑性指数和液性指数

塑性指数是指液限和塑限的差值（省去%符号），即土处在可塑状态下的含水量变化范围，用符号 I_p 表示，即：

$$I_p = W_l - W_p \quad (1-7)$$

显然，液限和塑限之差（或塑性指数）愈大，土处于可塑状态的含水量范围也愈大。从土的颗粒来说，土粒越细，且细颗粒（粘粒）的含量越高，则其比表面积和可能的结合水含量愈高，因而 I_p 也随之增大。如土中不含粘粒时， $I_p = 0$ 。由于塑性指数在一定程度上综合反映了影响粘性土特征的各种重要因素，因此，在工程上已经普遍按塑性指数对粘土进行分类。《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)中规定粘性土按塑性指数 I_p 值可划分为粘土、粉质粘土两种，其指标见表1-7。

液性指数是指粘性土的天然含水量和塑限的差值之比，用 I_L 表示，即：

$$I_L = \frac{W - W_p}{W_l - W_p} = \frac{W - W_p}{I_p} \quad (1-8)$$

从式中可见，当土的天然含水量 W 小于 W_p 时， I_L 小于0，天然土处于坚硬状态；当 W

大于 W_1 时, I_L 大于1, 天然土处于流动状态; 当 W 在 W_0 与 W_1 之间时, 即 I_L 在0~1之间, 则天然土处于可塑状态。因此, 《建筑地基基础设计规范》(GBJ7-89)规定粘性土根据液性指数值划分为坚硬、硬塑、可塑、软塑和流塑五种, 其划分标准见表1-13。

粘性土的状态

表 1-13

液性指数 I_L	状 态
$I_L \leq 0$	坚 硬
$0 < I_L \leq 0.25$	硬 塑
$0.25 < I_L \leq 0.75$	可 塑
$0.75 < I_L \leq 1$	软 塑
$I_L > 1$	流 塑

第四节 管道基础的种类及地基土的加固

一、对地基和基础的基本要求

- (1) 地基与基础应有足够的荷载承载能力;
- (2) 要有可靠的稳定性;
- (3) 地基的深度应浅, 以减少工作量和便于今后管道维修; 但也应有一定的深度, 以防冰冻、冲击, 以及土壤含水量变化范围过大;
- (4) 施工技术力求简便、经济。

为了满足地基与基础的基本要求, 在选线时应注意解决好以下几个问题:

1. 水流冲刷问题

(1) 凹岸冲刷如图1-3所示。通常管线不应在河床的急剧弯曲段敷设, 如必须在该类不利地段敷设时应加砌防冲刷挡土墙, 以便稳定河床。

(2) 洪水冲刷 洪水冲刷不一定发生在河床处, 在斜坡地区施工的管道不论是垂直于斜坡或是平行于斜坡, 在暴雨季节都可能形成山洪, 特别是土壤被扰动后, 很容易使原来稳定的地形地貌在扰动后遭到破坏, 形成新的冲沟。在斜坡地区施工时一定要注意水的流向, 使水流导离管线。

2. 地下水位变化

管道的基础埋深尽量控制在地下水位以上, 若不能在地下水位以上施工时, 应在施工时降低地下水位或根据土壤结构采取防护措施, 一定不能扰动地基土, 否则管道敷设后可能会产生不均匀下沉现象。

3. 冰冻影响

当土温低于冰点时, 地表附近结冰, 会使土壤发胀而隆起, 基础若置於这一范围内时, 经结冰后, 地基与基础将被抬起, 解冻时基础可能会突然下沉, 这样将会引起管道渗漏, 甚至断裂。因此, 管道的地基与基础应设置在土壤的冰冻线以下。

4. 特殊场地土的防护

所谓特殊场地土是指在管道正常运行或出现事故时, 能显著改变土壤承载能力的土壤, 如湿陷性黄土、膨胀土等, 应根据土壤特殊性对地基与基础采取特殊的措施。

5. 邻近建筑物、构筑物的影响

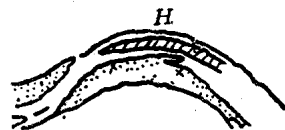


图 1-3 凹岸冲刷

管道的地基与基础除考虑承受管道工程本身的载荷外，当附近有建筑物、构筑物时，还应考虑附近建筑物、构筑物对管道地基与基础的影响。二者之间的水平距离应大于二者中较大的基础宽度，且从较高一方的基址所作 45° 之俯角线不得交截到另一个基础上（软土为 30° ）。如图1-4所示。

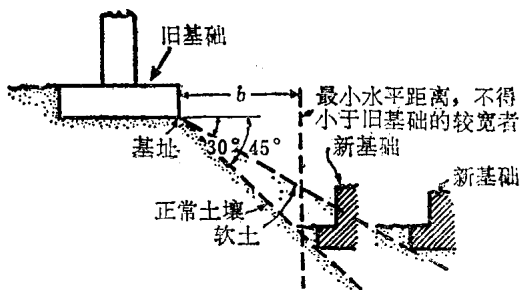


图 1-4 新旧基础的间隔

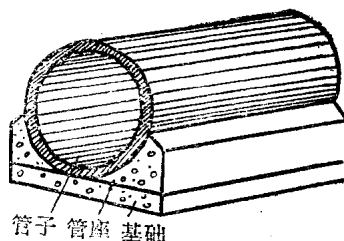


图 1-5 管子基础

二、管道基础的种类

干线管道线路的敷设方式计有：地下、地面和地上三种，其中用的最多的是地下敷设方式。据统计，在已建成的各种干线管道的总长度中约有98%左右是地下埋设的。在地下埋设的管道工程中，根据地基的地质土情况，管子的材质以及管径的大小，管道的基础可分为条形基础、墩形基础和原土基础三种。地上敷设的各种管道除利用现有的建筑物、构筑物作为支承结构外，一般多为柱形或墩形支承结构，对管道这种线性工程来说，也可通称为“点式支承”结构。因此，一个管道系统能否安全经济地运行，除管道工艺本身设计施工应正确外，管道的地基与基础是否符合要求也是一个重要因素。对于直接埋入地下的管道来说，一个完整的管道基础应有两部分组成，即：管座和基础。如图1-5所示。管道的各种荷载通过管座传到基础，然后再由基础传到地基。在具体工程中，根据地基的承载能力及管材的力学性能也有不设基础而直接将管子置于地基上的，即由地基兼起基础作用。

管道基础是指管子或支承结构与地基之间经人工处理过的或专门建造的构筑物，其作用是将管道较为集中的荷载均匀散布，以减少对地基单位面积的压力，或由于土的特殊性质的需要，为使管道安全稳定的运行而采取的一种技术措施，如原土夯实、混凝土基础等。

从管道基础和地基角度来说，设置管座的目的在于它使基础和管子连成一个整体，以减少对地基的压力和对管子的反力。管座包角的中心角愈大，则基础所受的单位面积的压力和地基对管子作用的单位面积的反力愈小。其受力情况以混凝土管为例示于图1-6中。

根据荷载试验可知：不同形状的管道基础，其所承受荷载的大小是不相同的。在图1-6中：

- (1) 表示沟管受到集中荷载 P ；
- (2) 表示沟管置于平基中，与(1)相比，能承受荷载为 $1.1P$ ；
- (3) 表示沟管放在中心角等于 $60^\circ \sim 90^\circ$ 的砂基上，所能承受荷载为 $1.5P$ ；
- (4) 表示沟管放在中心角仍为 $60^\circ \sim 90^\circ$ 的砂基上，但填砂经过夯实，能承受荷载 $1.9P$ ；(5)至(8)表示沟管放在中心角等于 60° 、 90° 、 120° 及 180° 的混凝土基础上，所能承受的荷载为 $2 \sim 7P$ 。

从以上可以看出，管子放在弧形基础（实际上也是管座）上，较放在平坦基础上能承受更大的荷载。因此，对大直径的或脆性的管材多采用弧形基础，对小直径的柔性管材则