

任务八 认识特殊性土

学习目标:

- (1) 掌握几种特殊土的概念, 了解特殊土的特征。
- (2) 熟悉几种不同特殊土的工程防治及处理方法。

任务描述:

特殊土是指在特定地域内, 由于生成条件的特殊, 使之不同于一般土, 而具有某些特殊性质的土。例如: 湿陷性黄土、红黏土、软土、填土、膨胀土、冻土、盐渍土等。对在这些特殊土地基必须给予处理。

相关知识:

湿陷性黄土

一、黄土的概念

黄土是指第四纪以来在干燥气候条件下沉积而成的多孔性具有柱状节理的黄色粉性土。当土中含有砂粒、黏土和少量方解石的混合物时, 呈浅黄或黄褐色。

黄土主要分布于世界大陆比较干燥的中纬度地带。全世界黄土分布的总面积大约有 1300 万平方公里。我国黄土的分布, 西起甘肃祁连山脉的东端, 东至山西、河南、河北交接处的太行山脉, 南抵陕西秦岭, 北到长城, 包括陕西、宁夏、甘肃、青海等五个省区的 220 多个县市, 面积达 54 万平方公里, 占全国土地面积的百分之六。我国西北的黄土高原是世界上规模最大的黄土高原, 华北的黄土平原是世界上规模最大的黄土平原。

实际上, 黄土地区沟壑纵横, 常发育成为许多独特的地貌形态, 常见的有: 黄土源、黄土梁、黄土峁、黄土陷穴等地貌。

二、黄土的特征及分类

一般认为黄土有如下特征: ① 颜色为淡黄、灰黄、黄褐、棕褐或棕红色; ② 颗粒组成以粉粒 (0.075-0.005mm) 为主, 一般不含粗颗粒, 富含碳酸钙, 常形成钙质结核 (俗称“砂姜石”)。③ 具多孔性, 一般肉眼可见大孔隙、虫孔等。孔隙比一般为 0.7-1.2。④ 土质均匀、无层理, 有堆积间断的剥蚀面和埋藏的古土壤层。⑤ 具垂直节理, 边坡在天然状态下能保持直立。⑥ 表层多具湿陷性, 易产生潜蚀形成陷穴或落水洞。具有上述大部分特征, 含层理、颗粒组成比较复

批注 [I1]: 前面加 LOGO, 出版社统一设计

批注 [I2]: 前面加 LOGO, 出版社统一设计

杂（含砾石、砂等）的土，应定名为黄土状土。

我国黄土的堆积时代包括整个第四纪。黄土地层的划分列于表 8-1

表 8-1 黄土地层的划分

年代		黄土名称		成因		湿陷性
全新世 Q ₄	近期 Q ₄ ²	新黄土	新进堆积黄土	次生黄土	以水成为主	具有湿陷性, 常具有高压缩性
	早期 Q ₄ ¹		黄土状土			
晚更新世 Q ₃				马兰黄土	原生黄土	以风成为主
中更新世 Q ₂		老黄土	离石黄土	上部部分土层具有湿陷性		
早更新世 Q ₁			午城黄土	不具湿陷性		

三、黄土的湿陷性

黄土的湿陷性是指天然黄土在一定压力作用下，被水浸湿后土的结构受到破坏而发生突然下沉的现象。具有这种特性的黄土称为湿陷性黄土；不具有这种特性的称为非湿陷性黄土。湿陷性黄土往往在地面上形成碟形洼地或陷穴，常引起建筑物基础的变形而开裂，甚至造成倒塌。所以，黄土的湿陷性对建筑工程，特别是基础工程有着重要的影响。

湿陷性黄土通常分为两类：一是被水浸湿后在自重压力下发生湿陷的，称为自重湿陷性黄土；二是被水浸湿后在自重压力下不发生湿陷，而在附加压力作用下产生湿陷的，称为非自重湿陷性黄土。在公路工程中，对自重湿陷性黄土应加以注意。

四、黄上地区的防治处理工程

由于黄土结构疏松，具大孔隙、抗水性能差、易崩解、潜蚀、冲刷和湿陷等特性，使之在黄土地区的工程出现多种病害，如路堑边坡的剥落、冲刷、坍塌、滑坡；路堤和房屋建筑不均匀沉陷、变形开裂等。因此，在工程中必须采取相应的措施，以保证安全。

1. 边坡防护

(I) 捶面护坡 在西北黄土地区，为防止坡面剥落和冲刷，可用水泥、石灰、砂子、炉渣和粘土等材料，在黄土路堑边坡上捶面防护。此法适用于年降雨量稍大地区和坡率不陡于 1:0.5 的边坡。防护层厚度为 10~15cm，一般采用等厚截面；只有当边坡较高时，才采用上薄下厚截面，基础设有浆砌片石及四合土捶

面护坡墙脚。

(2) 浆砌片石或干砌片石防护 此法适用于黄土路堑边坡坡高在 1~3m 范围内发生严重冲刷和应力集中的边坡下部。这种防护的效果较好,常被广泛采用。

2. 地基处理

在湿陷性黄土地区修建工程时,需做地基处理,用以改善土的力学性质,消除或减少地基因浸水而引起的湿陷变形,同时经过处理的地基,其承载力也有所提高。地基处理方法主要有以下几种:

(1) 重锤夯实表层 此法能消除地基直接持力层的湿陷性,效果较好,被广泛采用。

(2) 土垫层或灰土垫层 土垫层适用于处理稍湿的地基,处理深度一般为 1~3m,能消除地基直接持力层的湿陷性,减小或消除地基湿陷变形;增强地基的防水效果,减少土垫层下未处理土层的浸水机会。

(3) 土桩深层加密 适用于消除 5~15 m 深度内地基土的湿陷性。桩孔可用打桩方法取得,然后在桩孔内以最佳含水量的土料分层夯填。

(4) 硅化加固 适用于加固地下水位以上渗透系数 $K=0.1\sim 2.0\text{m/d}$ 范围内湿陷性黄土地基。加固后的地基不透水,可从根本上消除湿陷性。但这种方法费用昂贵,一般只用于小范围内的加固处理。

3. 排水

由于黄土的抗水性能差,故在黄土地区修筑公路和其它建筑物时,必须重视排水设施,使水流畅通无阻。同时,对天沟、吊沟和侧沟以及冲刷较大的部位的沟底铺砌加固,防止水流渗漏,以免使排水系统遭到破坏,这是保证建筑物稳定的重要措施之一。

1. 工程案例:强夯法处理湿陷性黄土地基

强夯法是用大吨位起重机,将巨锤提至空中,从 $h=8\sim 25\text{m}$ (最大 40m) 高处自由下落形成巨大的冲击能和冲击波。在夯锤接触地面的瞬间,强制压实与震密地基。

南同蒲铁路介休区段站通信站房屋,地处湿陷性黄土地区,为汾河左岸二级阶地。地表为 0.5m 厚的素填土,0.5~1.2m 为杂填土,稍湿松散。1.2~10m 均为新黄土,黄褐色及灰黄色,可塑,为 II 级自重湿陷性黄土。根据通信站与周围

已有建筑物位置经分析研究,采用强夯法处理该处地基。在经合理设计锤重、落距、夯间距及夯击数,并布设静力触探和分层沉降量测试点,分别在夯前、夯中、夯后进行测试分析,夯击过程中不但对周围已有建筑物未造成不良影响外,还消除了地基黄土的湿陷性,完全满足了设计要求,保证了工程质量。

软土是指滨海、湖沼、谷地、河滩沉积的天然含水量高、孔隙比大、压缩性高、抗剪强度低的细粒土。它主要包括内陆湖塘盆地、江河海洋沿岸和山间洼地沉积的各种淤泥和淤泥质粘性土。广泛分布在上海、天津、宁波、温州、连云港、福州、厦门、广州等东南沿海地区及昆明、武汉等内陆地区。此外,各省市都存在小范围的淤泥和淤泥质土。

一、软土的工程性质

1. 软土的物理力学性质

(1) 天然含水量高、孔隙比大 软土的孔隙比 $e > 1.0$,天然含水量一般都大于 30%,有的达 70%,甚至高达 200%,多呈软塑或潜液状态,一经扰动很容易破坏其结构而流动,山区软土的含水量变化幅度更大。

(2) 压缩性高 软土的压缩系数 α_{1-2} 一般在 $0.05 \times 10^{-5} \text{ Pa}^{-1}$ 以上,最高达 $0.3 \times 10^{-5} \text{ Pa}^{-1}$ 以上。压缩性随天然含水量及液限的增加而增高。软土多属近代沉积,为欠固结土。同时它的矿物成分、粒度成分及结构决定了它具有高亲水性及低透水性,水不易排出,也不易压密。因此,软土在建筑物荷载作用下,土体沉降变形量大,而且沉降不均匀。

(3) 抗剪强度低 软土的 ϕ 值大多小于或等于 10° ,最大也不超过 20° ,有的甚至接近于 0。 c 值一般在 $0.05-0.15 \times 10^5 \text{ Pa}$,很少超过 $0.2 \times 10^5 \text{ Pa}$,有的趋近于 0,故其抗剪强度很低。经排水固结后,软土的抗剪强度虽有所提高,但由于软土孔隙水渗出很慢,其强度增长也很缓慢。因此,要提高软土的强度,必须在建筑物的施工和使用期间控制加荷速度,特别是开始阶段的加荷不能过大,否则土中水分来不及排出,不但土体强度不能提高,反而会由于土中孔隙水压力的急剧增大而破坏土体结构发生挤出。

(4) 透水性低 由于大部分软土地层中存在着带状砂层,所以在垂直方向和水平方向的渗透系数 K 值不一样,一般垂直方向的要小, K 值约在 $10^{-6} \sim 10^{-8} \text{ cm/s}$,

几乎是不透水的。因此软土的排水固结需要相当长的时间，同时，在加载初期，地基中常出现较高的孔隙水压力，影响地基土的强度。

(5)触变性 软土是“海绵状”结构性沉积物，当原状土的结构未受到破坏时，常具有一定的结构强度，但一经扰动，结构强度便被破坏。如果在含水量不变的条件下，静置不动又可恢复原来的强度。这种因受扰动而强度减弱，再静置而又增强的特性，称为软土的触变性。软土中含亲水性矿物（如蒙脱石）多时，其触变性较显著。从力学观点来鉴别触变性的大小，用灵敏度来表示。软土的灵敏度一般在3~4之间，个别情况要达8~9，属中高灵敏性土。灵敏度高的土，其触变性也大，所以，软土地基受动荷载后，易产生侧向滑动、沉降或基底面向两侧挤出等现象。我国软土多属中等灵敏度的，个别的为高灵敏度土。

(6)流变性 是指在一定荷载的持续作用下，土的变形随时间而增长的特性。软土是一种具有典型流变性的土，它在剪应力作用下，土体将发生缓慢而长期的剪切变形，使其长期强度小于瞬时强度。这对边坡、堤岸等的稳定性极为不利。因此，用一般剪切试验求得的抗剪强度值，应加适当的安全系数。

2. 不同成因软土的物理力学指标

由于软土的沉积环境不同，导致土的结构强度上有所差别，因此，有时土的物理性质指标相差不多，而力学性质往往有很大的不同，这种特性在工程上应给予足够的重视。现将不同成因软土的物理力学性质列表，如表 10—3 所示。

表 10—3 不同成因软土的物理力学性质指标

类型	天然密度 ρ (g/cm ³)	天然含水 w (%)	天然孔隙 比 e	抗剪强度 内摩擦 角(φ)	凝聚力 c (kPa)	压缩系数 α ($1 \times 10^{-5} \text{pa}^{-1}$)
海滨淤积土	1.5~1.8	40~100	1.0~2.3	1~7	2~20	0.12~0.35
河滩淤积土	1.5~1.9	30~60	0.8~1.8	0~10	5~30	0.08~0.3
湖泊淤积土	1.5~1.9	35~70	0.9~1.8	0~11	5~25	0.08~0.3
谷地淤积土	1.4~1.9	40~120	0.2~1.5	0	5~19	>0.05

二、软土地基的加固与处理

对软土地基的处理效果如何，工程地质勘探是关键。因此，在对软土地基进行处理前，应认真详细地对软土地基的工程地质情况勘探清楚，以便针对软土地

基采取相应的处理措施。软土地基的处理措施及其适用性如表 10—4 所示。

表 10-4 软土地基的处理措施及其适用性

序号	处理措施	淤泥	适用情况		非黏性土	湿陷黄土	处理有效深度 /m	高路堤适用性
			黏性土	非饱和				
			饱和					
1	强夯			*		*	5~10	*
2	挤密砂桩	*	*	*	*		10~20	*
3	石灰桩	*		*	*		15~20	*
4	灰土桩			*		*	15~20	
5	碎石桩	*	*	*	*		15~20	*
6	塑料排水板	*	*			*	15~20	
7	灌浆	*	*	*	*	*	15~20	
8	堆载预压	*	*	*	*		20~30	*
9	真空预压	*	*				10~20	
10	降水预压	*	*				25~30	
11	水泥搅拌桩	*	*	*			15~20	
12	高压注浆	*	*	*	*		15~20	*
13	石灰土垫层			*	*	*	1~3	
14	透排水垫层		*	*	*		3~5	*
15	置换土	*	*	*	*		1~2	*
16	抛石挤淤	*					1~3	*
17	土工织物	*	*	*	*	*	5~8	*
18	深层加固		*	*	*	*	15~20	*
19	反压护道			*	*		5~8	

注：*为适合采用。

第三节 盐渍土

盐渍土是指在地表土层 1m 厚度内，盐土和碱土以及各种盐化、碱化土壤的统称。盐渍土在我国主要分布在西北干旱地区的新疆、青海、甘肃、宁夏、内蒙古等地地势低平的盆地与平原中。华北平原、松辽平原、大同盆地以及青藏高原的一些低洼湖泊也有分布。

盐渍土中的易溶盐含量随含水量及存在的状态不同而变化。有的以固态结晶状态分布于土粒之间，有的则以液态溶液存在于土的孔隙之中，而且随外界条件的变化，固—液态可以相互转化。这种转化以及易溶盐的性质都直接影响着盐渍土的物理力学性质。因此，在盐渍土地区布设路线，应充分认识盐渍土对公路工程的危害性，以便采取一些必要的措施保证路基的安全与稳定。

一、盐渍土的形成与季节变化

1. 盐渍土的形成

盐渍土的形成过程是矿化度较高的地下水,沿着土层中毛细孔隙上升到地表或接近地表,经蒸发作用后,水中盐分凝析出来,聚集于地表或地表下不深的土层之中而形成盐渍土。盐渍土形成因具备三个基本因素: ① 地下水的矿化度高,才有充分易溶盐的来源。② 地下水位较高,毛细作用能达到地表或接近地表,水分才有被蒸发的可能。地下水能通过土层蒸发而形成盐的深度,称为临界深度。地下水埋深大于临界深度时,就不易于形成盐渍土。临界深度的大小决定于土的毛细上升高度和蒸发强度。③ 气候比较干旱,一般年降雨量小于蒸发量的地区,易形成盐渍土。

由于盐渍土的形成受到上述因素的影响,故在分布上也有一定的地域性,一般多分布在地势较低,地下水位较高的地段。在不同地域内所形成的盐渍土,其性质也是不同的。按地域条件把我国盐渍土的形成分为:

(1) 海滨盐渍土 沿海一带受海水的盐渍或海岸退移,经过蒸发,盐分残留于地面而形成。易溶盐中氯离子同硫酸根离子含量之比,即 $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ 较内陆型盐渍土的大。沿海地区气候比较湿润,降水量大,这对该地区盐渍土的稳定性影响很大,其分布也没有内陆盐渍土广泛。

(2) 冲积平原盐渍土 主要是由于河床淤积抬高、修建水库等使沿岸地下水升高,同时沿岸地下水往往为河水补给,造成沿岸地区的土盐渍化。灌溉渠的水流渗漏,引起沿渠地下水上升,也能导致表土盐渍化。在冲积平原地区,表土盐渍化的类型和盐渍化程度相差较悬殊。

(3) 内陆盐渍土 多分布于干旱和半干旱地区,年蒸发量大于降水量,地势低洼,地下水埋藏浅、排泄不畅、矿化度高的地区,如我国的内蒙、甘肃、青海柴达木盆地、新疆塔里木盆地和哈密盆地等地。在内陆盆地,易溶盐由径流或地下水从高处带向低处,其分布规律受地形及水文地质条件的影响,盐渍化的性质和程度,也有盆地边缘向中心变化。

2. 盐渍土中盐分的季节变化

盐渍土中的盐分随着季节、气候和水文条件的不同而发生变化。干旱季节降雨少,蒸发量大,盐分向地表大量积聚,表土含盐量增多。雨季淋溶作用加强,地表一部分盐分被淋溶下渗,表土中的盐分减少。

二、盐渍土的分类及基本特性

1. 按形成条件分类

(1) 盐土 以含有氯盐及硫酸盐为主的盐渍土称为盐土。盐土通常是在地下水位高的低洼地内，盐分沿毛细孔隙上升，经蒸发而聚集于土的表层。在海滨被海水浸渍的地段也可形成盐土，在草原和荒漠中的洼地内，被地表水汇入洼地的盐分，经蒸发也能形成盐土。干旱季节，盐土表面常有白色盐霜或盐壳出现。

(2) 碱土 碱土的特点是表土层中含有较多的碳酸钠和重碳酸钠，不含或仅含微量的其它易溶盐类，其粘土胶体部分为吸附性钠离子所饱和。在深度 40~60m 的土层内含易溶盐氯化钠和硫酸钠最大，同时也聚集有碳酸钙和石膏。碱土可由盐土因地下水降低而形成，或由地表水渗入土中，水蒸发时形成。

(3) 胶碱土（龟裂粘土） 是荒漠或半荒漠低洼处所特有的土，大部分是粘性土或粉性土，表面光滑，不长植物；干燥时非常坚硬，常干裂成多角形。潮湿时立即膨胀，裂缝挤紧，成为不透水层，非常泥泞。这种土含易溶盐较少，因表土层中含有吸附离子和大量的粘土胶粒，故其亲水性很强。

2. 按含盐性质分类

盐渍土中常见的易溶盐主要是氯盐，其次是硫酸盐，少量是碳酸盐。根据氯离子同硫酸根离子含量之比（ Cl^- / SO_4^{2-} ），以及碳酸根离子与碳酸氢根离子含量之和同氯离子与硫酸根离子含量之和的比值（ $(CO_3^{2-} + HCO_3^-) / (Cl^- + SO_4^{2-})$ ），将盐渍土分为五种，见表 10—4 所示。

表 10—4 盐渍土分类及盐渍土容许含盐量

盐渍土名称	$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{CO_3^{2-} + HCO_3^-}{Cl^- + SO_4^{2-}}$	容许含盐量（%）
氯盐渍土	2	—	5~8（一般为 5%，如加大夯实密度，可提高含盐量，但最高不超过 8%）
亚氯盐渍土	2~1	—	5（其中硫酸盐含量不超过 2%）
亚硫酸盐渍土	1~0.3	—	5（其中硫酸盐含量不超过 2%）
硫酸盐渍土	<0.3	—	2.5（其中硫酸盐含量不超过 2%）
碱性盐渍土	—	>0.3	2（其中易溶的碳酸盐含量不超过 0.5%）

3. 按含盐程度分类

按盐渍土中含盐的百分数、含盐性质和修筑路基的可用性分类，见表 10—5 所示。

表 10-5 盐渍土按含量的分类

盐渍土名称	被利用土层的平均含盐量（重量%）			修筑路基的可能性
	氯盐渍土及亚氯盐渍土	硫酸盐渍土及亚硫酸盐渍土	碱性盐渍土	
弱盐渍土	0.5~1	—	—	可用
中盐渍土	1~5	0.5~2	0.5~1	可用
强盐渍土	5~8 } (1)	2~5 } (1)	1~2 } (2)	可用, 但应采取措施
超盐渍土	>8	>5		不可用

注：（1）其中硫酸盐含量不超过 2%方可用；

（2）其中易溶碳酸盐含量小于等于 0.5%方可用。

4. 盐渍土的基本特性

盐渍土的基本特性因土中所含易溶盐的性质不同而异。土中常见的易溶盐类主要有三种：

（1）氯盐（ NaCl 、 KCl 、 CaCl_2 、 MgCl_2 ） 氯盐渍土具有很大的溶解度和吸湿性，且蒸发性弱，能使土中保持一定量的水分，促使土粒有较好的胶结，其强度反较一般土高。在干旱地区（如柴达木盆地）用氯盐渍土填筑路堤，易于夯实；但因其吸湿性，在潮湿的雨季，土体过分饱水而易产生路基翻浆冒泥的病害。

（2）硫酸盐（ NaSO_4 、 MgSO_4 ） 没有吸湿性，只在结晶时吸收一定数量的水分，体积增大，如 $\text{NaSO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ （芒硝），但在 32.4°C 以上为无水芒硝，体积缩小。硫酸盐渍土受季节和昼夜温度变化，引起硫酸盐吸水结晶，脱水溶解，而使体积发生变化，导致土体结构的破坏，变得十分松散。这种松散作用只发生在地表 0.3m 厚的土层中，如果用 $>2\%$ 的硫酸盐渍土作路堤填料时，则松胀现象特别显著，因而引起路肩及边坡土体变松，易被雨水冲走或被风吹蚀；路基会发生季节性的胀隆和缩陷，造成路堤不稳，增大养护工作量。

（3）碳酸盐（ Na_2CO_3 、 NaHCO_3 ）。碳酸盐能增加粘性土的塑性和粘性。水溶液有很大的碱性反应，吸水性大，渗透系数小，因而膨胀作用非常突出。若土中碳酸盐含量 $>0.5\%$ 时，则土的隆胀量更为显著，隆胀的深度可达 1~3m。路堤土体隆胀，造成路面凹凸不平。碳酸盐遇水溶解后，使土的密度削减，产生下沉现象。

三、盐渍土对工程的影响

1. 盐渍土对路基工程的影响

盐渍土的工程性质随易溶盐的种类和含盐量的大小而变化。盐分对土的作用，既有有利的方面，也有不利的方面。在干旱方面，氯盐的吸湿、保湿及胶结等作用常常有利于路基的稳定，在潮湿状态下，路基由于易溶盐的存在及其状态的转变（结晶与溶解的相互转化），能使路基土的密度减小，并较快地丧失其稳定性，造成道路泥泞，甚至坍塌，使翻浆更严重。当含有硫酸盐类时，对路基可产生有害的胀胀作用，土体十分疏松，强度降低，失去稳定性。盐渍土的碱化作用，可使土膨胀性增加，破坏路面的平整。

2. 盐渍土对建筑材料的影响

(1) 当盐渍土中氯盐含量在 3%~5% 以下，硫酸盐含量在 2% 以下时，一般对沥青材料的稳定性无有害的影响。当含盐量超过上述数值时，随着含量的增加则延展度普遍下降，但对针入度和软化点的指标影响不大。

土中 Na_2CO_3 和 NaHCO_3 能使土的亲水性增加，并使土与沥青相互作用形成溶盐，使沥青材料发生乳化。

(2) 土中氯盐的总含量在 2%~3% 以下时，能加速水泥硬化、降低冰点，对于混凝土与水泥加固土的强度是有利的。

(3) 硫酸盐的含量超过 1% 和氯盐含量超过 4% 时，就会对水泥产生腐蚀作用。尤以硫酸盐结晶水化物的影响最大，会造成水泥加固的土、砂浆、混凝土疏松、剥落、掉皮等侵蚀现象。

(4) 盐渍土中的各种易溶盐对砖、钢铁、橡胶等材料均有不同的腐蚀性。对木材、竹材、花岗岩等材料的腐蚀性很轻微。因此，在盐渍土地区修建工程，应加强防腐蚀的措施。

四、盐渍土地区的工程处治措施

盐渍土有很强的腐蚀性，易造成地基松软，路面翻浆，对工程地基危害性极大。根据盐渍土的性质及对路基工程的影响，一般常采用的措施有以下几种：

1. 控制填料的含盐量

在盐渍土地区，就地取土作填料，为了达到设计的填土密度，含盐量应控制在一定的指标内。不同盐渍土的容许含量不同，其具体数值见表 10—4。如当地无其它适宜的填料，必须用含盐量大的土作填料时，可根据当地的自然条件，通

过试验，采取相应措施，路基填料的容许含盐量也可不受表 10—4 的限制。含盐量大的土层，一般均分布于地表数十厘米范围内，故当取土坑和路基基底的地表含盐量超过表 10—4 的标准时，在填筑前先进行铲除。

2. 隔断毛细水

如当地的填料来源困难，不易采用提高路堤方法解决时，则采用隔断毛细水的措施。隔断毛细水的方法有两种：

(1) 渗水土隔断法 一般选用渗水性强的粗大颗粒材料，如卵石（碎石）土、砂石土或粗砂土等，铺在路堤底部或腰部。隔断土层的厚薄，视该材料的毛细水上升高度而定，一般稍高于该高度即可，见路堤设计断面图 10-1 所示。

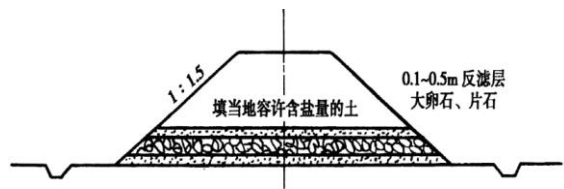


图10-1 用大颗粒(卵石)、片石作隔断层

(2) 石灰沥青膏隔断法 用沥青、石灰膏和水三种按比例拌和做成隔断层，厚约 2~5cm 即可。在缺乏透水材料的情况下，用此法效果良好，但在材料的配合比方面尚待进一步研究，且施工工艺复杂。

(3) 采用垫层、重锤击实及强夯法处理浅部土层，可消除地基土的湿陷量，提高其密实度及承载力，降低透水性，阻挡水流下渗；同时破坏土的原有毛细结构，阻隔土中盐分向上运移。

3. 控制路堤高度

在盐渍土地区，隔断层的材料不易取得时，可采取提高路堤的高度的措施，使毛细水达不到基床。同时，由于盐渍土地区的地下水位一般较高，路堤除了有再盐渍化的可能外，还有冻胀和翻浆的危害。为使路堤不受冻害和再盐渍化的影响，也应提高路堤高度。

4. 降低地下水位和排水

如地形有利于排水，宜在路基旁侧设置降低地下水位的排水沟，将水引排至路基范围以外，使路基以下的地下水位降低。这样，可适当压低路堤高度，减少填方工程数量。但应摸清地下水活动规律，正确地进行设计。

地面排水系统可与降低地下水位的排水系统合并设置。如地表径流大，则宜分开布置，以免冲毁降低地下水的排水沟，影响路基的稳定。

5. 防松胀与溶蚀

硫酸盐渍土有松胀性，虽然填料的硫酸盐含量不容许超过 2%，而在毛细水能达到的高度范围内，路堤边坡仍会产生盐渍化，使表层发生松胀，故应设置护道，见图 10-2。当路堤高出

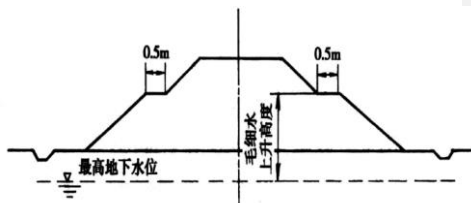


图10-2 设置护道

出毛细水上升高度甚多时，可在毛细水上升高度处的边坡两侧各修筑 0.5m 宽的护道。另外还可采用加宽路肩，每侧不小于 0.2m；或用卵石平铺路堤边坡。

第四节 冻土

冻土是指高纬、高寒地区、土层温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ 并含有冰的土层。

冻土从冻结时间看有季节冻土和多年冻土两种。季节冻土是指冬季冻结、夏季融化的土。在平均气温低于零摄氏度的地区，冬季长，夏季很短，冬季冻结的土层在夏季结束前还未全部融化，又随气温降低开始冻结，这样地面下一定深度的土层常年处于冻结状态，就形成多年冻土。通常认为，持续三年以上处于冻结不融化的土称为多年冻土。

季节性冻土主要分布在我国华北、西北及东北地区。多年冻土多分布在北纬 48° 以北的黑龙省北部地区以及西部海拔 4300~4500m 以上的高原区。我国东北平原的永冻层上限埋深在 4m 左右，其厚度一般在 20~30m，个别地段可达 60m；青藏高原的永冻层上限埋深在 3m 以下，河谷地带稍深一些，有的可达 10m 以上。

多年冻土按其冻结状态可分为：①坚硬冻土 土粒被冰牢固胶结，在荷载作用下，强度高，具有一定的脆性和不可压缩性；粉土和粘土一般低于 -1°C 左右时便成为坚硬冻土。②塑性冻土 虽被冰胶结，但仍含有多量的未冻结水，具有塑性，强度不高，在荷载作用下可以压缩。当温度界于 0°C 和坚硬冻土温度的上限之间、饱和度 $S_r \leq 0.8$ 时，常呈塑性冻土。③松散冻土 由于土的含水量较小，未被冰胶结仍呈冻前的松散状态，其力学性与未冻土差不多。砂土和碎石土常呈松散冻

土。

一、冻土现象及其对工程的危害

冻土现象是冻土地区特有的不良地质现象，它是由冻结及融化两种作用引起的。某些细粒土，如粉土及粉质土之类的土层，冻结时往往会发生土层体积膨胀，使地面隆起成丘，即冻胀现象。冻土发生冻胀会使路基隆起，使柔性路面鼓包、开裂；刚性路面错缝或折断。冻胀还使修建在其上的建筑物抬起，引起建筑物的开裂、倾斜，甚至倒塌。

对工程危害更大的是在季节性冻土地区，一到春暖土层解冻融化后，由于土层上部积聚的冰晶体融化，使土中含水量大大增加，加之细粒土排水能力差，土层处于饱和状态，土质软化，强度大大降低。路基土解冻融化后，在车辆反复碾压下，轻者路面变得松软，限制行车速度，重者路面开裂、冒泥（翻浆），使路面完全破坏。冻融还会使房屋、桥梁、涵管发生大量下沉或不均匀下沉，引起建筑物开裂破坏。因此，冻土的冻胀及冻融都会给工程带来危害，必须引起注意，采取必要的防治措施。

二、冻胀的机理与影响因素

1. 冻胀的机理

冻土发生的主要原因是冻土在冻结时，土中的水分向冻结区迁移和积聚的结果，关于水分迁移的学说较多，其中以“结合水迁移学说”较为普遍。

不同类型水的冰点是不同的：重力水在 0°C 时冻结，毛细水稍低于 0°C ；弱结合水要在 $-20^{\circ}\text{C} \sim -30^{\circ}\text{C}$ 时才全部冻结，强结合水在 -78°C 才可能冻结。

基于上述特性，当气温降至负温时，土温也随之降低，首先冻结成冰晶体的是土孔隙中的自由液态水。随着土温的继续下降，弱结水的最外层开始冻结，冰晶体逐渐增大，使其周围的结合水膜减薄，于是，土粒就产生剩余的分子引力。也正由于结合水膜减薄，使得水膜中的粒子浓度相对增加，于是在高、低两种浓度溶液之间产生一种压力差，导致低浓度溶液向高浓度溶液的方向迁移。在这两种力的作用下，附近未冻结区水膜较厚处的结合水，被吸引到冻结区的水膜较薄处。当水分被吸引到冻结区后，因负温作用，水即冻结，使冰晶体增大，而不平衡引力继续存在。若未冻结区存在着水源（如地下水距冻结区很近）及适当的渗水通道（即毛细通道），能够源源不断地补给被吸引的结合水，则未冻结区的水

分就会不断地向冻结区迁移和积聚，使土层中的冰晶体扩大，形成冰夹层，土体积发生隆胀，即冻胀现象。这种冰晶体的不断增大一直到水源的补给断绝后才停止。

2. 影响冻胀的因素

冻胀现象是在一定条件下形成的，通常要受到下列三个因素的影响：

(1) 土 冻胀现象一般发生细粒土中，特别是粉土、粉质亚粘土和粉质亚砂土等，由于这类土具有较显著的毛细现象，毛细上升高度大、速度快，且有较畅通的水源补给通道，故在冻结时水分迁移积聚最为强烈，冻胀现象严重。同时，这类土的颗粒较细，表面能大，土粒矿物成分亲水性强，能持有较多的结合水，从而能使大量结合水迁移和积聚。相反，粘土虽有较厚的结合水膜，但因孔隙很小，不能形成毛细水，对水分迁移的阻力很大，故其冻胀性较粉质土小，至于砂砾等粗粒土，没有或有很少量的结合水，且无毛细现象，孔隙中自由水冻结后，不会发生水分迁移积聚，因而也不会发生冻胀。基于粗粒土的这一特性，在工程实践中常在地基或路基中换填砂土，以防治冻胀。

(2) 水 土在冻结时，土中水分的迁移和积聚是土层发生冻胀的主要原因。当冻结区附近地下水位较高，毛细水上升高度能够达到或接近冻结线，使冻结区能得到水的补给时，将发生比较强烈的冻胀现象。因此，可将冻胀区分为两种类型：一种是在冻结过程中有外来水源补给的，称为开敞型冻胀；另一种是在冻结过程中没有外来水分补给的，称为封闭型冻胀。开敞型冻胀往往在土层中形成很厚的冰夹层，产生强烈冻胀，而封闭型冻胀，土中冰夹层薄，冻胀量也小。

(3) 气温 负温变化的幅度和强度对冻胀的形成有着重要的影响。如气温骤降、冷却强度很大时，冻结速度很快，土的冻结面迅速下移。此时，土中弱结合水及毛细水来不及向冻结区迁移而在原地冻结成冰，毛细通道也被冰晶体所堵塞。于是，水分的迁移和积聚就无法发生，在土层中只有散布于空隙中的冰晶体，而无冰夹层，此时的冻土一般无明显的冻胀现象，如气温缓慢下降且冷却强度小，但负温持续的时间较长时，则能促使未冻结区的水分不断地向冻结区迁移积聚，在土中形成冰夹层，出现明显的冻胀现象。

上述三个因素是土层发生冻胀的必要条件。因此，在持续负温作用下，地下水位较高处的粉砂、粉土、亚粘土、轻亚粘土等土层常见有较大的冻胀危害。我

们可以根据影响冻胀的三个因素，采取相应的防治冻胀的工程措施。

三、冻土地区的工程防治措施

由于土的冻胀和冻融将危害建筑物的正常使用和安全，因此，冻土地区的工程防治措施的基本原则是排水、保温和改善土的性质。

1. 排水 水是冻胀和冻融的决定因素，必须控制土中的水分。在地面修建一系列排水沟、管，拦截地表周围流来的水；聚集、排除地面及内部的水，不得使这些地表水渗入地下。在地下修建盲沟、渗沟、管等拦截周围流来的地下水；降低地下水位。

2. 保温 应用各种保温材料，将地温对工程的影响降至最小，从而最大限度地防治冻胀和冻融。在路堑或基坑的底部和边坡上或填土路堤地面上，铺设一定厚度的草皮、泥炭、苔藓、炉渣或粘土，起到一定的保温隔热作用，使多年冻土上限相对稳定。

3. 改善土的性质

(1) 换填土 用粗砂、卵、砾石等不冻胀土置换天然地基的细粒土，是广泛采用的防治冻害有效措施。一般基底砂垫层厚度为 $0.8\sim 1.5\text{m}$ ，基侧面为 $0.2\sim 0.5\text{m}$ 。在铁路路基下常用这种砂垫层填土，但在换填土层上要设置 $0.2\sim 0.3\text{m}$ 隔水层，以免地表水渗入基底。

(2) 物理化学法 在土中加入某种物质，改变土粒与水的相互作用，使土体中水的冰点降低，水分转移受到影响，从而削弱和防治土的冻胀。如在土中加入一定数量的可溶性无机盐类（氯化钠、氯化钙等）使之成为人工盐渍土，从而限制了土中水分的转移，降低了冻结温度，将冻胀变形限制在容许范围内。

本章小结

特殊土是指在特定地域内，由于生成条件的特殊，使之不同于一般土，而具有某些特殊性质的土。例如：软土、黄土、盐渍土、冻土等。

黄土是在干旱和半干旱气候条件下沉积而成的，呈褐黄色或灰黄色，具有针状孔隙及垂直节理的一种特殊土。黄土最大的特征是具有湿陷性，常见的黄土地区的工程防治措施有：边坡防护、地基处理、排水等。

软土是指在静水或缓慢流水环境中沉积而成的、天然含水量大、压缩性高、

承载力低、透水性差的一种软塑到流塑状态的饱和粘性土层。目前工程实践中用于软土路堤加固与处理方法常见的有：换土、抛石挤淤、反压护道、砂井等。

盐渍土是指在地表土层 1m 厚度内，盐土和碱土以及各种盐化、碱化土壤的统称。根据盐渍土的性质及对路基工程的影响，一般常采用的措施有以下几种：控制填料的含盐量、隔断毛细水、降低地下水位和排水、防松胀与溶蚀。

冻土是指高纬、高寒地区、土层温度 $\leq 0^{\circ}\text{C}$ ，并含有冰的土层。由于土的冻胀和冻融将危害建筑物的正常使用和安全，因此，冻土地区的工程防治措施的基本原则是排水、保温和改善土的性质。

思考题

1. 什么是特殊土？有哪些土称为特殊土？为什么？
2. 什么叫软土？软土对工程建筑物有何危害性？软土地基上的路堤常采用哪些工程措施？
3. 解释黄土的湿陷性、非湿陷性、自重湿陷性与非自重湿陷。
4. 黄土地区常见的工程病害有哪些？通常采取哪些技术措施来加以防范？
5. 盐渍土形成所必须具备的条件有哪些？我国盐渍土按地域条件可以分为哪些类型？
6. 盐渍土对路基工程和对建筑材料有何影响？
7. 在盐渍土地区的工程建筑，一般常采用哪些治理措施？
8. 什么叫冻土？季节性冻土和多年冻土有何区别？
9. 简述冻胀形成的机理及其影响因素。
10. 冻土地区的路堤和路堑，常根据哪些不同情况采取一些什么样的处治措施？其实质是要防治什么病害的发生？试各举一、二例加以分析说明。

实训项目

资料：通（辽）让（葫芦）铁路位于吉林省西部和黑龙江省南部，全长 421 km，其中嫩江浸水路堤长 8.4 km，堤高 8~14m，穿越五处常年浸水的江岔和水泡子地段，基底土以第四系河流冲积层为主，主要地层为淤泥质砂粘土、淤泥质粘砂土及粉细砂等。

淤泥质砂粘土为灰及灰绿色，流塑状，含大量粉细砂及砂的夹层或包裹体，局部夹淤泥质粘土，一般厚度约为 2.0～10.0m。淤泥质粘砂土为灰绿色，含砂量高，局部夹砂粘土透镜体，分布零散，厚度不定，一般为 0～4.0m。粉细砂饱和中密，含少量淤泥质土。

根据上述资料，分析此处地基属于哪一种特殊土，可以采用哪些地基加固措施。

表 7—1 透层、粘层、封层的概念、设置部位、作用及材料

类型	概念、设置部位	作用	材料
透层	在基层上喷洒液体石油沥青、乳化沥青、煤沥青而形成的透入基层表面一定深度的薄层。	使沥青面层与非沥青材料基层结合良好	宜采用慢裂的洒布型乳化沥青
粘层	路面沥青层与沥青层之间、沥青层与水泥混凝土路面之间而洒布的沥青	加强路面沥青层与沥青层之间、沥青层与水泥	宜采用快裂的洒布乳化沥青

	材料薄层。	混凝土路面之间的粘结	
封层	在沥青面层或基层上铺筑的有一定厚度的沥青混合料薄层，铺筑在沥青面层表面的称为上封层，铺筑在沥青面层下面、基层表面的称为下封层。	封闭表面空隙、防止水分侵入	宜采用快裂的洒布乳化沥青

1.使用范围



从渗透性来说，煤沥青的渗透效果最好，但是煤沥青的毒性较强，从环保和操作工人的身体健康角度使用煤沥青需要相应的保证措施。