

铁路工程设计技术手册

《路基》 第三篇

漫水路基及改河工程

铁道部第一设计院主编

人民铁道出版社

铁路工程设计技术手册

《路基》第三篇

浸水路基及改河工程

铁道部第一设计院主编

人民铁道出版社

1977年·北京

内 容 简 介

铁路工程设计技术手册第二册《路基》，内容包括路基构造、路基排水、浸水路基及改河工程、特殊条件下路基、改建既有线及增建第二线、路基防护、挡土墙等七篇及附录——路基设计参考资料。为满足现场设计工作急需，现按各篇定稿先后，暂以分篇形式出版。

本篇包括：

第八章 滨河及河滩路堤——铁道部第三设计院编写。

第九章 水库地区路基——铁道部第一设计院编写。

第十章 改河工程——铁道部第一设计院编写。

铁路工程设计技术手册

《路基》第三篇

浸水路基及改河工程

铁道部第一设计院主编

人民铁道出版社出版

(北京市东单三条14号)

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民铁道出版社印刷厂印

开本：787×1092 1/32 印张：3 字数：105千

1977年1月 第1版

1977年1月 第1版 第1次印刷

印数：0001—8,000册 定价(科三)：0.30元

(限国内发行)

毛主席语录

阶级斗争是纲，其余都是目。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

抓革命，促生产，促工作，促战备。

自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想。

我们的方针要放在什么基点上？放在自己力量的基点上，叫做自力更生。

目 录

第三篇 浸水路基及改河工程

第八章 滨河及河滩路堤3.1	第二节 一般原则3.13
第一节 概述3.1	一、线路位置.....3.13
一、基本概念.....3.1	二、处理原则.....3.13
二、勘测调查要点.....3.1	第三节 水库地区路基设计3.14
第二节 一般原则3.1	一、新建铁路的路基设计.....3.14
一、填料选择.....3.1	二、既有铁路的路基加固.....3.18
二、设计原则.....3.2	三、水库坍岸防护.....3.19
第三节 浸水路堤的稳定性检算3.2	第四节 有关计算3.20
一、在浸水条件下的路堤边坡稳定性检算.....3.2	一、水库坍岸宽度的预测方法.....3.20
二、在路堤两侧水位差较大的条件下, 渗流稳定性检算.....3.3	二、地下水壅升的计算.....3.26
第四节 浸水路堤设计3.4	三、路堤的渗流计算.....3.27
一、断面形式.....3.4	四、由于浸水而引起的路基沉落量计算.....3.27
二、路堤两侧水位差较大时的处理.....3.4	第十章 改河工程3.34
三、边坡冲刷防护及基底处理.....3.6	第一节 概 述3.34
第五节 用粉细砂填筑浸水路堤的经验3.7	一、基本概念.....3.34
一、关于饱和粉细砂的振动液化问题.....3.7	二、勘测调查要点.....3.39
二、关于防止粉细砂浸水路堤振动液化的设计.....3.9	第二节 一般原则3.39
三、设计示例.....3.10	一、改河起终点的选择.....3.39
第九章 水库地区路基3.12	二、对新河道的要求.....3.39
第一节 概 述3.12	第三节 改河设计3.40
一、基本概念.....3.12	一、新河道的平面、纵断面和横断面的设计.....3.40
二、勘测调查要点.....3.13	二、改河地段的防护设计.....3.40
	三、设计经验举例.....3.40

第三篇 浸水路基及改河工程

第八章 滨河及河滩路堤

第一节 概 述

一、基本概念

(一) 沿河岸修筑的路堤只有一侧边坡浸水并经受水流作用者称为滨河路堤。跨越河滩大致与水流方向相垂直或斜交的路堤, 在中间适当部位有过水建筑物, 两侧边坡均浸水并经受水流作用者称为河滩路堤。

在一年內任何时期都受水浸(但浸泡水位有季节性变化)者属经常性浸水路堤, 仅在洪水时期浸水而平时不浸水者属周期性浸水路堤。

(二) 滨河及河滩路堤不同于普通不浸水路堤的特点是其稳定性会受到下述一些作用的影响。

1. 因河流水位涨落而引起的土体内渗透动水压力方向变化的作用。

路堤边坡浸水后, 水向堤身内渗透, 其渗透速度因土体的渗透性质而有差异。经过一定时间则浸泡水位以下的堤身土体为水所饱和, 在堤身断面上出现一条饱和土体与未饱和土体的分界线称为浸润曲线, 若路堤两侧的浸泡水位大致相等, 此曲线也大致是平齐的; 若路堤两侧的浸泡水位不相等, 则此曲线为一由上游侧至下游侧的降落曲线。按照堤身填料性质的不同, 浸润曲线还会因毛细水上升而抬高。对于一般粘性土, 毛细水上升高度可达到1.5米及以上; 对于细颗粒沙土约为0.15~1.0米左右; 对于粗大颗粒的填料如卵石、碎石、块石等, 则上升非常微少可以忽略不计。浸润曲线的位置随浸泡水位的涨落及其持续时间而有变化。

当浸泡水位上升时, 作用于土粒的渗透动水压力指向堤内, 起增加路堤边坡稳定性的作用; 当水位下降(特别是骤然下降)时, 堤身土体(特别是渗透性较弱的细粒土)内部的水来不及随即排出, 因而渗透动水压力指向堤外, 起破坏路堤边坡稳定性的作用。

2. 因路堤两侧浸泡水位差较大而引起的贯穿堤身的渗透水流的作用。

路堤两侧水位的水头差愈大, 则贯穿堤身的渗透水流逸出下游边坡的速度愈大, 当该渗透速度足以冲动下游边坡的土体颗粒时, 水流将带走土粒并将逐渐扩大而形成管涌现象, 破坏下游边坡的稳定性。

当浸水路堤基底为透水地层时, 在路堤两侧水位差的作用下, 渗透水流也会通过基底地层自路堤下游坡脚附近向上逸出; 若该处地层土可被冲移, 则亦将发生管涌现象或流土现象而破坏路堤的稳定性。

3. 用粘性土填筑的路堤受水浸泡后堤身土体强度降低, 其容重也因受到上浮力而减小, 均对路堤的稳定性不利。

4. 水流的冲刷和淘刷作用(特别是在河流的凹岸地段)严重危害路堤的稳定性, 必须加以防护。对于较宽深的河流有较大风浪时, 还应考虑波浪的破坏作用。

二、勘测调查要点

(一) 工点所在河段的河床和河岸的地形地质特征, 着重分清主槽与滩地, 凹岸与凸岸; 查明河床和河岸的地层组成, 其岩土结构和渗透性质及对于水流和波浪作用的抵抗能力, 以及河床和河岸附近的冲淤情况等。

(二) 工点所在河段的设计洪水水位, 中水位(满槽或平滩水位), 低水位及其持续时间和涨落变化速度, 以及这些水位的流量、流向、流速等。

河流上有风浪时, 还应搜集有关风浪的资料。

(三) 路堤填料的种类及其来源和运距, 并用适合的试验方法取得供稳定性检算用的这些填料在不同情形下的物理力学性质指标(包括容重、内摩擦角、单位粘聚力及渗透系数等)。

(四) 冲刷防护工程建筑材料的种类及其来源和运距。

第二节 一般原则

一、填料选择

(一) 路堤填料以就地就近取用为原则, 但不得损害农田水利的利益, 亦不可影响路堤及其防护以及附近其他建筑物的稳定性。

(二) 针对滨河及河滩路堤的特点, 其浸水部分宜优先选用水稳性高、压缩性小、渗透性强的粗大颗粒材料如砾石、卵石、漂石及不易风化的碎石、块石等以消除渗透动水压力的作用; 粗砂中砂

次之，在控制较高的压实密度（不小于最佳密度的90%）的条件下，一般粘性土也是适宜的填料，但以含砂量达50~75%者为最好。

(三) 纯粘土虽具有不透水的优点，但浸水潮湿后易发生滑坍，遇冻易发生冻胀，干燥后又易发生龟裂，故不掺入适量的砂子则不宜用作填料。以容易风化崩解的岩块填筑的路堤，浸水后沉降量很大且不易控制，宜避免采用，不得已而使用时应辅以适当措施。含有大量有机质的淤泥，腐殖土、沼泽土，以及含有大量易溶盐碱的盐碱土等，不仅水稳性极差，且可能对混凝土和浆砌圬工防护有侵蚀性，均不可用于填筑浸水路堤。

(四) 浸水饱和的粉细砂，可能具有振动液化的性质，但在查明其破坏的机理后，若能控制其组成成分和压实密度，或者采取防止振动液化的有效措施，在工点附近缺乏其他适宜的填料的情形下亦可使用。

二、设计原则

(一) 对于用细粒土（主要是粘性土或粉细砂）填筑的滨河和河滩路堤，属于经常性浸水或周期性浸水但持续时间较长，足以使堤身浸水部分完全饱和者，应根据在浸水条件下的边坡稳定性检算结果来设计边坡坡度，高度在8米以内的路堤亦可参考有充分根据的和类似情况的经验资料来设计，而免去检算。通常只将水下边坡坡度较普通边坡放缓一级。

(二) 对于用粗大颗粒填料来填筑的滨河和河

滩路堤，由于堤身对渗透的阻力很小，渗透动水压力作用的影响甚微，且填料的强度亦不因浸水而有显著的降低，故可按普通不浸水路堤来设计边坡坡度（注意采用在潮湿饱和情形下的填料强度指标）。但有时为了减小小坡脚附近的水流冲刷深度，以利于设置较浅的防护建筑物基础，则宜适当放缓边坡。

(三) 当路堤两侧的水位差较大，贯穿堤身的渗透水流可能冲移下游边坡上的土粒，或者穿过路堤基底透水层自下游坡脚附近向上逸出的渗透水流可能冲移该处地面的土粒时，均应按照具体情况采取相应的有效措施以防止管涌现象或流土现象的发生。

(四) 根据行近水流或波浪对路堤边坡的危害程度和工点所在地段的地形地质条件，应选用适当的防护加固措施，以保证路堤不受冲刷和淘刷的破坏。尤其在峡谷地段的滨河路堤，宜采用石质填料或浸水挡土墙，以收回坡脚，避免路堤压缩河床过多。

(五) 注意路堤基底的稳定性（主要是软的基底），必要时应加以处理，若处理很困难且费用巨大时，应与修筑栈桥方案作比较后决定取舍。

(六) 为了防洪抢险的需要，以及为了保护路堤本体免受凶猛洪水的直接冲击，宜在路堤临水的一侧或两侧设置1~2米宽的护道，其高度应高出计算洪水位（设计洪水位加可能的壅水高度，有波浪作用时再加波浪侵袭高）0.5米。

第三节 浸水路堤的稳定性检算

一、在浸水条件下的路堤边坡稳定性检算

(一) 检算前提

1. 路堤两侧的浸泡水位不等高，水位上升时渗透水流穿过堤身土体的浸润曲线形状及渗流方向如图8-1所示。

路堤两侧的浸泡水位大致相等，水位下降时水自堤内向堤外渗流的浸润曲线形状及渗流方向如图8-2所示。

对于浸水路堤，为了简化计算，通常可假定浸润曲线近似地为一直线，其坡降等于渗透水流的平均水力坡降。不同性质的土

体内渗流平均水力坡降 (I_{pj}) 可查本手册附录一或简略地按下式估算：

$$I_{pj} = \frac{1}{3000\sqrt{K}} \quad (8-1)$$

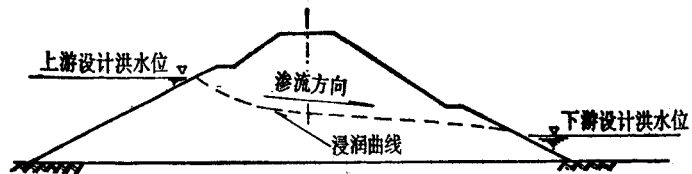


图8-1 水位上升时堤身土体内浸润曲线示意图（两侧水位不等）

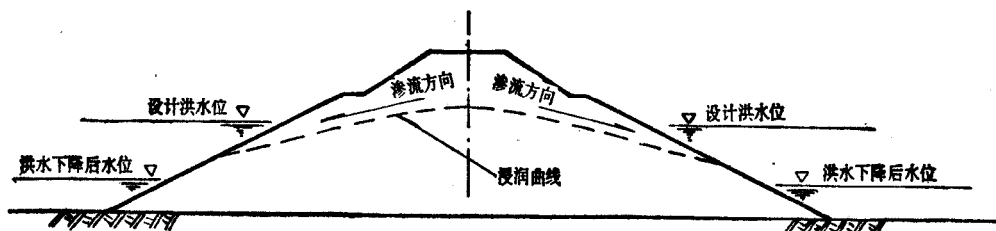


图8-2 水位下降时堤身土体内浸润曲线示意图（两侧水位大致相等）

式中： K ——土体的渗透系数（m/秒）。

2. 渗透水流作用于土体的动水压力（ D ）可按下式计算：

$$D = \Delta_0 I_{pj} \Omega_s \quad (8-2)$$

式中： Δ_0 ——水的容重（一般以 $1t/m^3$ 计）；

I_{pj} ——渗流的平均水力坡降；

Ω_s ——浸润曲线以下的饱水面积（ m^2 ）。

(二) 检算方法

对路堤稳定最不利的情况大都发生在设计洪水水位骤然降落（下降速度大于3米/昼夜）的时候，一般按此时条件进行检算。对于用细粒土料填筑的路堤，通常采用假定破裂面为圆弧面的条分法（见本手册第四章），但必须计入浸水部分土体容重和强

度指标的变化，以及渗透动水压力的作用。稳定性系数一般要求达到1.25~1.5。

填料的强度指标最好通过试验取得，对于浸润曲线以上的部分，宜用夯后固结快剪资料；对于浸润曲线以下的部分宜用夯后饱和快剪资料；土样夯实宜分别按设计规定达到的且施工条件可能达到的标准办理。如无条件进行饱和快剪试验，可采用以下近似经验公式计算：

浸水饱和条件下的内摩擦系数 $f' = 0.75f$ (f 为不浸水时的内摩擦系数)；

浸水饱和条件下的粘聚力 $C' = 0.5C$ (C 为不浸水时的粘聚力)。

参看图 8-3，稳定性系数的计算公式如下：

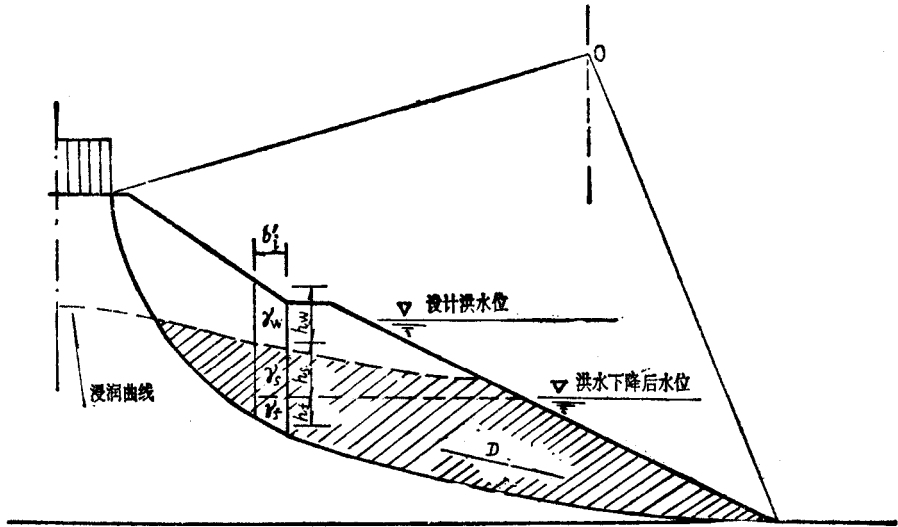


图 8-3 浸水路堤边坡稳定性检算示意图

$$K = \frac{[\sum b_i \gamma_w h_w \cos \alpha_i \tan \phi + C l] + [\sum b'_i (\gamma_w h_w + \gamma_s h_s + \gamma_f h_f) \cos \alpha'_i \tan \phi' + C' l']}{\sum b_i \gamma_w h_w \sin \alpha_i + \sum b'_i (\gamma_w h_w + \gamma_s h_s + \gamma_f h_f) \sin \alpha'_i + D} \quad (8-3)$$

式中： b_i ——位在浸润曲线以上的破裂圆弧上的土条分块宽度（m）；

b'_i ——位在浸润曲线以下的破裂圆弧上的土条分块宽度（m）；

α_i ——与 b_i 相应的破裂圆弧的倾角；

α'_i ——与 b'_i 相应的破裂圆弧的倾角；

γ_w ——浸润曲线以上土体的容重（ t/m^3 ）；

γ_s ——洪水下降后水位以上，浸润曲线以下土体的容重（ t/m^3 ），等于饱和容重；

γ_f ——洪水下降后水位以下土体的容重（ t/m^3 ），等于浮重；

ϕ, C ——浸润曲线以上土体的内摩擦角（度）和单位粘聚力（ t/m^2 ）；

ϕ', C' ——浸润曲线以下土体的内摩擦角（度）和单位粘聚力（ t/m^2 ）；

l ——浸润曲线以上破裂圆弧段的全长（m）；

l' ——浸润曲线以下破裂圆弧段的全长（m）；

D ——浸润曲线与破裂圆弧所包的饱水面积内的渗透动水压力。

注：若破裂圆弧有一部分位在坡脚地面线以下且在过圆心的铅垂线之右侧，则该部分圆弧以上的土体的负下滑力应计入抗滑力内。

二、在路堤两侧水位差较大的条件下，
渗流稳定性检算

(一) 路堤下游一侧边坡不致发生管涌现象的估算

已知穿过堤身渗流的水力坡降和堤身土体的渗

透系数后, 可由达西定律求得渗流在下游边坡出口处的实际速度, 若此速度不超过该处土粒的容许无冲移流速 (V_{rx}), 则不致发生管涌现象。 V_{rx} 可按下式求算:

$$V_{rx} = A \cdot \sqrt{K} \quad (8-4)$$

式中: K ——路堤土体的渗透系数 (m/秒);
 A ——试验系数, 可近似地取为 0.0307~0.0370。

(二) 路堤下游一侧坡脚附近不致发生管涌或流土现象的估算

一般对于在路堤基底为沙类土地层的情况才考虑检算。穿过基底透水层自下游坡脚附近向上逸出的渗流临界水力坡降 I_K (即刚刚不致发生管涌或流土现象的渗流坡降) 与该处地层土的不均匀系数 η (等于 $\frac{d_{60}}{d_{10}}$, 其中 d_{60} 为土的控制粒径, 即标准试样中小于这种粒径的重量占总数的 60%, d_{10} 为有效粒径, 即标准试样中小于这种粒径的重量占总数的 10%, 可按颗粒分析曲线确定) 有关。根据试验

研究所得的 $I_K = f(\eta)$ 曲线如图 8-4 中的虚线所示, 同图中的粗黑折线表示不同 η 范围内的容许渗流坡降值, 可供不致发生渗流破坏现象的估算之用。

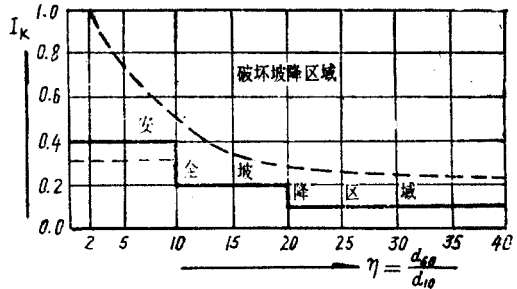


图 8-4 $I_K = f(\eta)$ 关系曲线 (沙类土)

对于不同基底透水层情况, 自路堤下游坡脚附近向上逸出的渗流水力坡降的计算公式可参见手册第九章第四节。

第四节 浸水路堤设计

一、断面形式

在根据边坡稳定性检算或经验资料确定浸水部分边坡后, 按前述设计原则, 常用的浸水路堤断面

形式一般如下。

(一) 路堤两侧水位大致相等, 填料为细粒土, 断面如图 8-5。

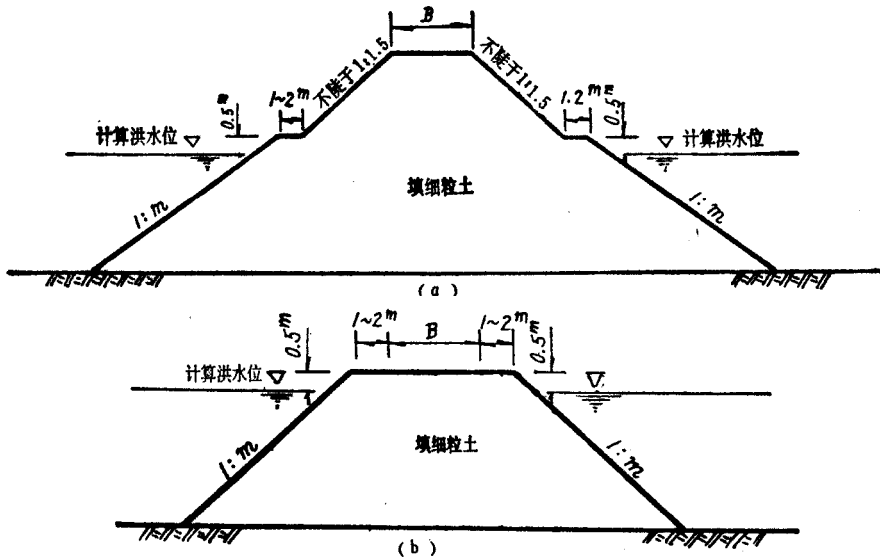


图 8-5 浸水路堤断面形式之一

(二) 路堤一侧临水, 一侧无水, 填料为细粒土, 断面如图 8-6。

(三) 路堤两侧水位大致相等, 浸水部分填粗大颗粒渗水料, 其以上填一般粘性土, 如图 8-7。

(四) 在渗水料来源较困难地段, 浸水部分可用一般粘性土或粉细砂填在中间, 外部用渗水料填筑, 如图 8-8。

二、路堤两侧水位差较大时的处理

(一) 当路堤基底地层可视为隔水层, 贯穿堤身的渗流自下游一侧边坡逸出, 可能发生管涌现象时, 一般在下游坡脚附近设置排水设备, 常用的排水设备型式见第九章表 9-3。

(二) 当路堤基底地层为透水层, 穿过基底的渗流自下游坡脚附近向上逸出, 可能发生管涌或流土现象时, 常用较简便的措施有护底铺盖 (见第九

章图9—8)；当路堤本体用粘性土填筑时，可在路堤基底中间设置防渗齿墙，以延长渗透路径，如图8—9所示。

渗透路径的折算长度 (S) 可按下式估计：

$$S = L_H + \frac{1}{3} L_V \quad (8-5)$$

式中： L_H ——路堤基底轮廓的水平长度 (m)；

L_V ——防渗齿墙的垂直长度 (m)。

$$[S] \geq 1.5H \quad (8-6)$$

式中： H ——路堤两侧的水位差 (m)；

λ ——试验系数，可查表8—1。

不同透水地层的试验系数值 表 8-1

透水地层土的种类	λ	透水地层土的种类	λ
粉砂	8.5	细粒砾砂	4.0
细砂	7.0	中粒砾砂	3.5
中砂	6.0	粗粒砾砂	3.0
粗砂	5.0	卵石砾石	2.5

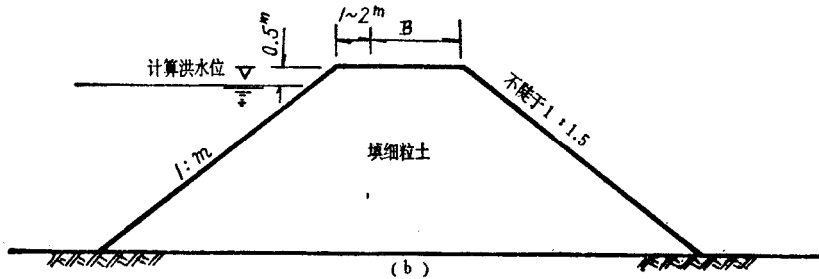
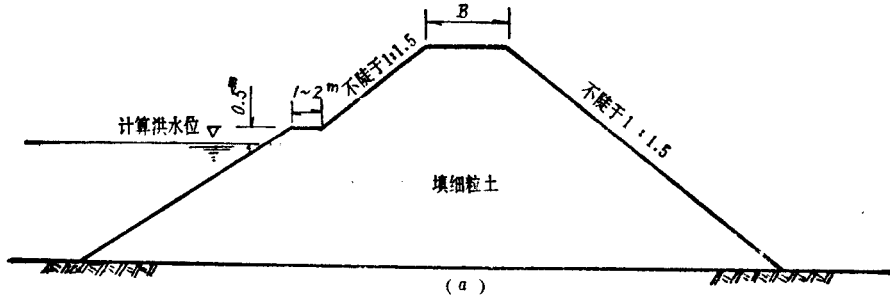


图 8—6 浸水路堤断面形式之二

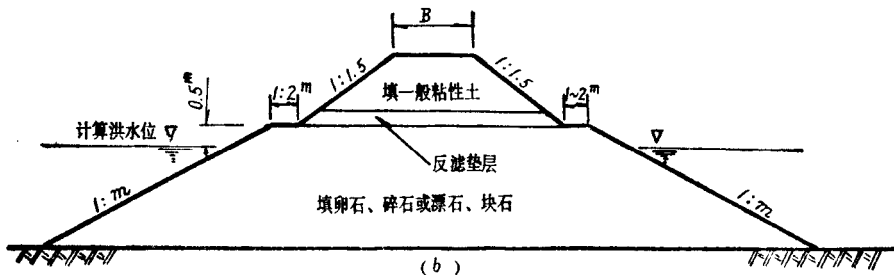
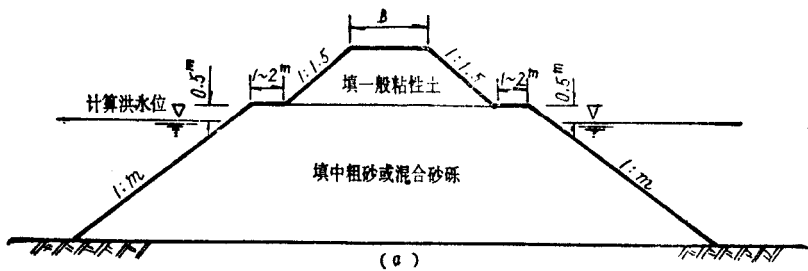


图 8—7 浸水路堤断面形式之三

注：上图 (b) 中反滤垫层厚度视上部填料与下部填料的粒径差异大小而定。

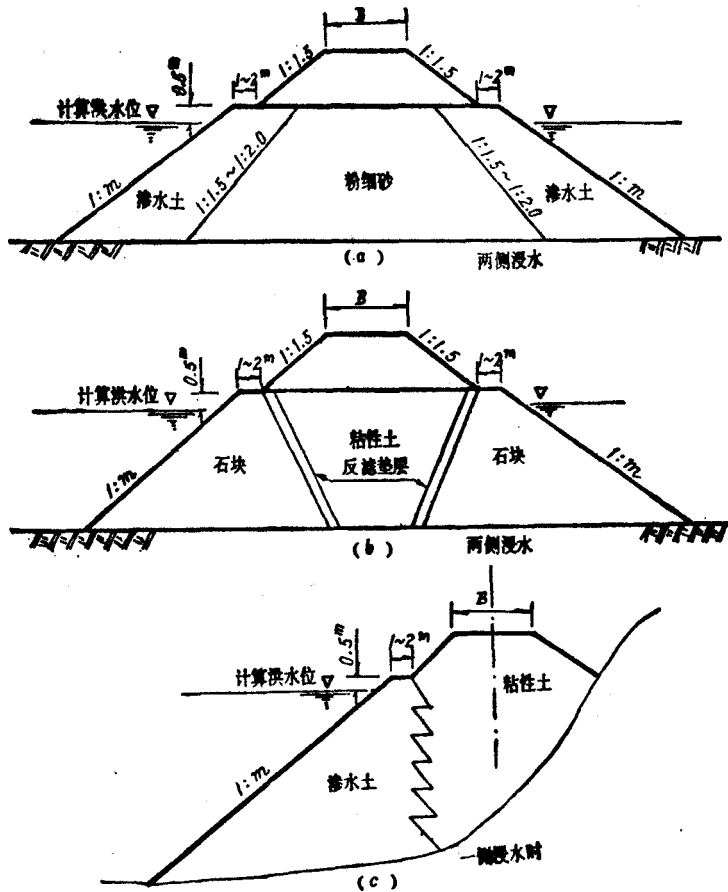


图 8-8 浸水路堤断面形式之四

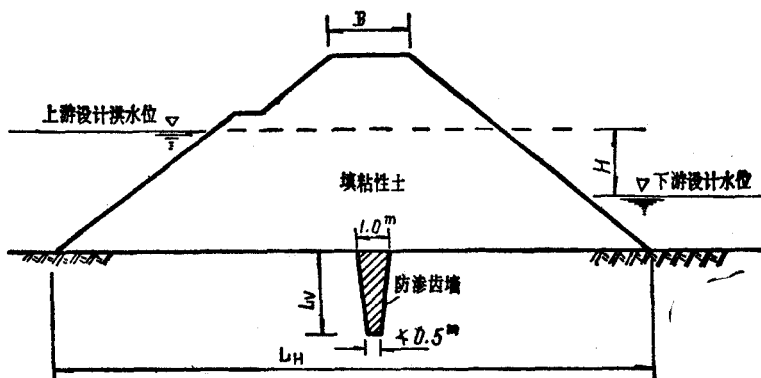


图 8-9 防渗齿墙

由式(8-5)所得的 S 与按式(8-6)所得的 $[S]$ 相比较,即可决定防渗齿墙长度 L_v 值。当路堤基底下透水层不厚时,宜将防渗齿墙嵌入透水层下的不透水层中以隔断基底下的渗流。

防渗齿墙一般可用渗透系数不大于 10^{-7} 厘米/秒的粘土修筑,在寒冷地区可用粘土三合土(重量配合比,粘土20~25%,沙35~40%,砾石35~40%)

修筑,并均应仔细分层捣固以增强其隔渗性能。

三、边坡冲刷防护及基底处理

关于受水流或波浪冲刷作用的浸水路堤边坡的防护加固,可参照本手册第二十五章,根据具体情况选用适当的措施和类型。

关于路堤基底的一般处理,可参考本手册第二章。关于软土基底的处理可参考本手册第十四章。

第五节 用粉细砂填筑浸水路堤的经验

由于饱和粉细砂填筑的浸水路堤，在列车振动作用下，有可能产生液化坍塌，以往规范中曾有不准用粉细砂作为浸水路堤填料的規定。1965年铁道科学研究院、第三设计院、第三工程局为解决嫩江河滩路堤填料来源困难，势必要利用当地粉细砂来填筑的技术问题，进行了调查研究和较系统的观测试验，从理论上弄清饱和砂的振动液化规律，找出防止振动液化的相应措施，为该河滩路堤的设计和施工提供了依据。该河滩路堤自通车以来，已经历了七次洪水期的考验，情况良好，事实说明用粉细砂填筑浸水路堤，只要采取了防止产生振动液化的措施，是完全可行的。嗣后，且将其经验在其他工点中推广使用。故现行的工程技术规范上规定在渗水土、粘性土等填料来源有困难时，亦可采用粉细砂填筑，但应考虑采取防止振动液化的措施，并加强防护。

用粉细砂来填筑浸水路堤，在勘测设计阶段，要收集较多的关于砂的组成成分专门试验资料，进行稳定性的分析验算，在施工时还要有严格的施工控制及质量检验，工作较为复杂。故在决定用粉细砂来填筑浸水路堤之前，宜与其他可能采用的方案进行比较而作出取舍。

一、关于饱和粉细砂的振动液化问题

(一) 简介

饱和粉细砂在受到振动力作用的瞬间，会发生砂体的挤密，但因其渗透性不很强，孔隙中的水不能于短时间内排出，致使孔隙水压力增大，相应地使有效压力减小，砂粒间的摩擦力随之降低；当孔隙水压力增大至与作用于砂粒的全部压应力相等时，砂粒悬浮，其抗剪强度完全丧失，砂体呈流动状态而破坏，称为振动液化现象。

大量试验和观测资料表明，振动液化的主要影响因素有：砂的颗粒成分和密度，振动力的特性和作用强度，以及砂体的初始应力状态。这些影响因素之间又互有联系，其中砂的密度是最重要的基本因素，而其他因素则是产生液化的必要条件。对于

某一种组成成分的具有一定密度的粉细砂砂体，在承受振动作用时，都有刚刚不致发生砂的密度起变化的振动加速度，这种振动加速度称为临界振动加速度。若已知路基土体各部位的列车振动加速度后，则可反求其相应的要求密度，作为防止路基产生振动液化的条件。

(二) 铁路列车对路基的振动作用

据多次实测资料，铁路列车通过时对路基的振动作用有如下的规律：

1. 振动频率大致是一定数，其平均值约为30.5~31.4赫芝。

2. 最大振动加速度随车速的增加而线性增大，即：

$$a = \beta V \quad (8-7)$$

式中：V——行车速度 (km/小时)；

a——最大振动加速度 (cm/秒²)；

β ——试验系数，约为48~52cm/秒²/km/小时。

a值在钢轨接头处比在钢轨中部处可大一倍左右，并随距路基面的深度及距钢轨的水平距离的增加而逐渐减小，其沿垂直深度方向的衰减规律可近似地按下式计算：

$$a_y = a_0 e^{-\xi Y} \quad (8-8)$$

式中：a₀——钢轨接头处路基面上的垂直向振动加速度 (cm/秒²)；

Y——距路基面以下的深度 (cm)；

a_y——钢轨接头处路基面以下深度Y处的垂直向振动加速度 (cm/秒²)；

ξ ——沿垂直深度方向的振动衰减系数 (cm⁻¹)，按试验测定；

e——自然对数的底。

3. 振动作用的衰减沿垂直深度方向比沿水平方向为快，同时离振源越近衰减越快，离振源越远衰减越慢。图8—10示在营业线上实测的各种土质路堤振动加速度随深度变化的规律。

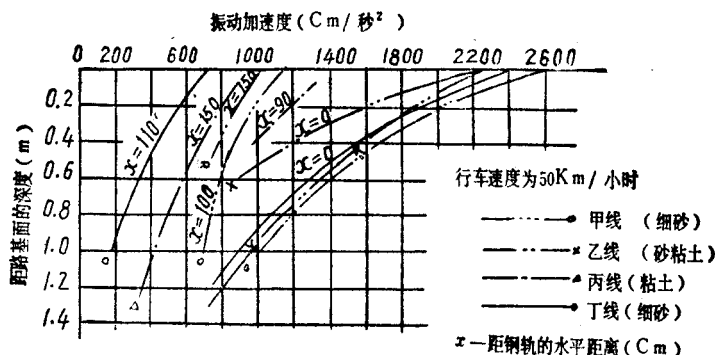


图8—10 路堤振动加速度随深度的变化

对于不同的路基土质,在同样的振动条件下,振动作用的衰减有明显的差别,在粘土中比在砂土中衰减的快,例如在砂粘土路堤中,衰减系数 $\xi \approx 0.016$,在细砂路堤中 $\xi \approx 0.011$,在粉细砂路堤 $\xi \approx 0.0093$ 。路基土体密度对振动衰减的影响也较显著,密度越大则衰减系数越小。

4.沿水平方向的振动加速度及振幅比沿垂直方向者为小,例如在砂粘土中,水平向振动加速度及振幅平均约为垂直向的42.3%。

(三) 振稳密度

1. 在列车振动作用下,饱和粉细砂路堤土体内产生孔隙水压力,其值随时间而改变,一般在开始时迅速增长,并在很短时间内达到峰值;之后逐渐较缓慢地消散,直至孔隙水压力为零而止,同时随着列车通过次数的增加,该孔隙水压力的峰值逐渐减小,如图8-11所示。

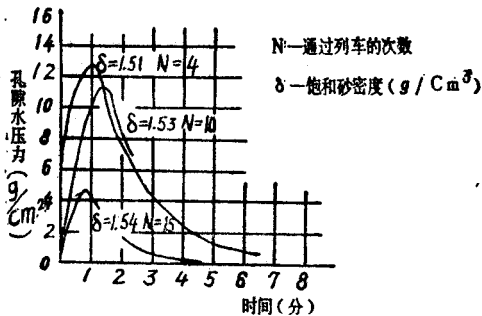


图8-11 在列车振动作用下饱和粉细砂路堤内孔隙水压力随时间的变化

在孔隙水压力改变的过程中,砂体的密度也发生相应的变化,随着振动次数(即列车通过次数)的增加,其密度不断提高,迨达到一定的密度后,在继续的振动作用下,孔隙水压力不再产生,砂体密度亦不再改变,该密度即称为振稳密度。

2. 饱和砂体的振稳密度,随振动作用的强度的不同而不同。对于同一种砂,一定的振动强度对应着一定的振稳密度;振动加速度愈高,振稳密度就愈大。根据在同一地段用四种不同组成的饱和砂体进行振动试验对比的结果,得出振稳密度与振动加速度的关系曲线如图8-12所示。

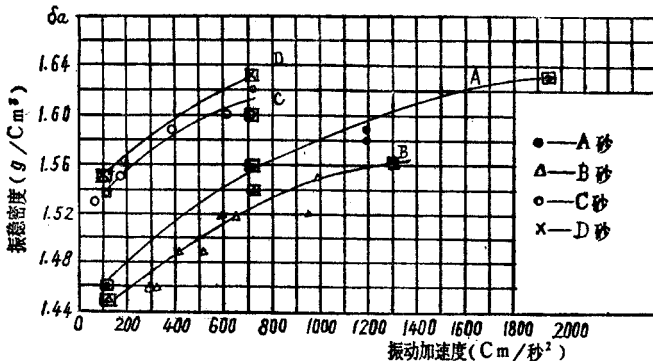


图8-12 饱和砂体振稳密度与振动加速度的关系曲线

由此图可以看出,在较小的振动加速度范围内,振稳密度的增量较大;而在较大的振动加速度范围内,其增量渐小。

3. 对于砂土,不能单从密度说明其紧密程度。在同样密度下,不同的砂其颗粒形状和级配情况不同,紧密度会有很大的差别。故通常是用相对密度 (D_r) 表示其紧密度。

$$D_r = \frac{\epsilon_{max} - \epsilon_0}{\epsilon_{max} - \epsilon_{min}} = \frac{\delta_{max}(\delta_0 - \delta_{min})}{\delta_0(\delta_{max} - \delta_{min})} \quad (8-9)$$

式中: ϵ_0 ——砂体的孔隙比;

δ_0 ——相应于孔隙比 ϵ_0 的砂体干容重;

ϵ_{max} 、 ϵ_{min} ——砂体的最大和最小孔隙比,

(按试验测定);

δ_{max} 、 δ_{min} ——相应于 ϵ_{min} 和 ϵ_{max} 的砂体最大和最小干容重(按孔隙比及比重计算求得)。

将砂体在不同振动加速度作用下的振稳密度换算为相应的相对密度 (D_{ZW}),可绘出 D_{ZW} 与振动加速度的关系曲线如图8-13。

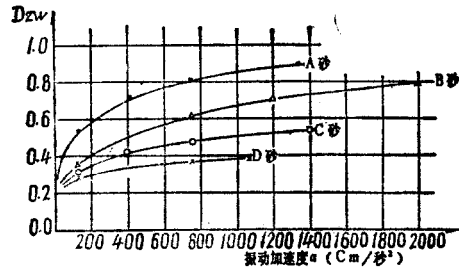


图8-13 D_{ZW} 与加速度的关系曲线

4. 从图8-13,可知不同颗粒组成的砂体,在同样的振动加速度条件下,其要求的相对密度是不相同的,这种差别主要是由于砂的颗粒组成及级配情况不相同而造成的。砂体的颗粒组成及级配特征可用有效粒径 (d_{10})、平均粒径 (d_{50})、和小于0.1毫米颗粒含量 ($P_{<0.1}$) 三个指标来表示。如图8-14为试验选用的四种砂的颗粒级配曲线及其特征粒径指标。从这三个特征指标大小顺序与砂体相对密度 (D_{ZW}) 的大小有相对应的规律来看,可以利用这三个特征指标来判别砂体在振动作用下的液化稳定性。为此,根据三种试验用砂的特征粒径指标 (d_{10} 、 d_{50} 、 $P_{<0.1}$) 和图8-13的资料可绘出在一定相对密度下临界振动加速度 a_{kp} (即与 D_{ZW} 对应的振动加速度) 与 d_{10} 、 d_{50} 及 $P_{<0.1}$ 的关系曲线,如图8-15。

由此图可知,在一定的相对密度下,不同特征粒径的砂体,具有一定的临界振动加速度,其数值随着 d_{10} 、 d_{50} 的增大或 $P_{<0.1}$

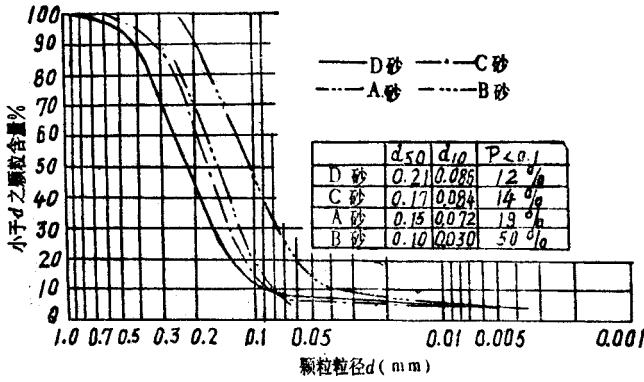


图 8-14 试验所用四种砂的颗粒级配曲线

的减小而急剧增大，各曲线均以特征粒径指标的某一数值为渐近线，该值即为不致发生振动液化现象的界限值，并随相对密度 D_{zw} 的不同而不同。

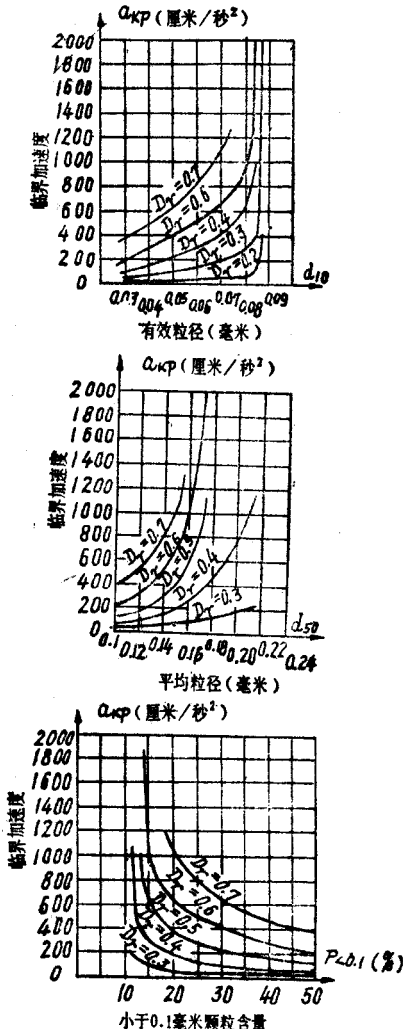


图 8-15 在一定相对密度 (D_{zw}) 下，临界振动加速度 a_{kp} 与特征粒径指标的关系曲线

对于一般砂质路堤，其填筑密度至少应达到中等密实程度，即 $D_r \geq 0.6$ ，从图 8-15 可求得各特征粒径指标的界限值分别为： $d_{10} \geq 0.085$ 毫米， $d_{50} \geq 0.17$ 毫米， $P_{<0.1} \leq 13\%$ ，亦即凡是颗粒组成符合这些界限值条件的砂质路堤，当其相对密度等于或大于 0.6 时，其临界振动加速度均大于实际在列车振动作用下的最大振动加速度，因而不会发生振动液化现象，用它们做为浸水路堤填料，除需按一般情况控制填筑密度外，不必考虑液化问题。

二、关于防止粉细砂浸水路堤振动液化的设计

(一) 如前段所述，砂体的振稳密度随振动作用的强度不同而不同，对于某一种组成成分的砂体，一定的振动强度对应着一定的振稳密度。在列车振动作用下，路堤体内各点的振动强度随其距振源的远近而有差别。理论上要求其压实密度宜分别按各点的振动强度考虑。但为了便于施工，实际只能将路堤高度分为不多的层次，而按各分层的最大振动加速度确定其压实密度。

设计资料除第一节第二部分所要求者外，还应 对砂土填料作颗粒分析，绘出颗粒组成级配曲线，在该曲线中取得其特征粒径指标 d_{10} 、 d_{50} 、 $P_{<0.1}$ 的数值；求出砂的比重与最大和最小孔隙比，施工可能达到的压实程度下的孔隙比；并计算出其最大和最小干容重与压实后的干容重。

设计需要的振动强度及振稳密度数据，原则上最好根据工点的具体条件通过专门的观测试验求得（用圆筒液化观测仪，详见《嫩江河滩粉砂路堤技术总结》）。如无条件时，目前亦可参照上述已有的资料来确定。

(二) 设计步骤

1. 判别是否需要考虑振动液化问题

根据所用砂土填料的特征粒径指标 (d_{10} 、 d_{50} 、 $P_{<0.1}$)，如能满足以下界限值； $d_{10} \geq 0.085$ 毫米， $d_{50} \geq 0.17$ 毫米、 $P_{<0.1} \leq 13\%$ ，则不存在液化问题，可按一般浸水路堤设计。否则应考虑振动液化问题。

2. 对于需考虑振动液化问题者，先确定路堤的要求密度。

(1) 参照绘有设计洪水位的浸水路堤代表性横断面，按下式计算饱和层顶面的最大振动加速度 (a_{h1})：

$$a_{h1} = a_0 e^{-\xi h_1} \approx 50V \cdot e^{-\xi h_1} \quad (8-10)$$

式中： a_0 ——钢轨接头处路基面上的最大振动加速度 ($\text{cm}/\text{秒}^2$)；

V ——设计线的列车运行速度 ($\text{km}/\text{小时}$)，

(根据实测资料，当车速超过 60km/小时，路基面上的振动加速度有

不再随车速的增加而增大的趋势，故车速大于60km/小时，可仍用60km/小时；

ξ ——振动衰减系数，根据实测资料，对于粘土平均可用 0.015cm^{-1} ，对于一般粘性土平均可用 0.012cm^{-1} ，对于非饱和和粉细砂平均可用 0.009cm^{-1} ，对于饱和和粉细砂平均可用 0.0015cm^{-1} ；

h_1 ——路基面至路堤内饱和层顶面的深度(cm)。

(2) 根据饱和层顶面的最大振动加速度(a_{h_1})，以及填料砂与前述试验用砂的特征粒径指标的差别，利用图8—13以确定在饱和层顶面处需要的相对密度(D_{zw})，再利用公式(8—9)，以求算饱和层顶面处的要求密度(δ_{h_1})。

$$\delta_{h_1} = \frac{\delta_{\max} \cdot \delta_{\min}}{\delta_{\max} - D_{zw}(\delta_{\max} - \delta_{\min})} \quad (8-11)$$

式中： δ_{\max} 、 δ_{\min} ——所用填料砂的最大和最小密度(即干容重，以 g/cm^3 计)。

将 δ_{h_1} 与规定的填筑密度(δ)相比较，若 $\delta_{h_1} < \delta$ ，则全部路堤可按规定密度填筑；若 $\delta_{h_1} > \delta$ ，则应考虑路堤分层的密度控制问题。

3. 根据振动作用强度随深度而衰减的规律，可以求出自路堤内饱和层顶面的振动加速度(a_{h_1})逐渐衰减至相应于规定填筑密度的临界振动加速度(a_k)的深度(h_k)。

$$\text{由 } a_k = a_{h_1} e^{-\xi h_k}$$

$$\text{可得: } h_k = -\frac{1}{\xi \log e} \log \frac{a_k}{a_{h_1}} \quad (8-12)$$

式中： a_k ——相应于规定填筑密度的临界振动加速度($\text{cm}/\text{秒}^2$)，按填料砂的各特征粒径指标及相应于规定填筑密度的相对密度利用图8—15查出，并取其其中的最小值；

其余符号意义同前。

为安全起见，设计中对于计算求得的 h_k 值，宜引入适当的安全系数。

在 h_k 深度以下的路堤部分，可按规定密度填筑，在 h_k 深度范围以内填筑密度在理论上宜由饱和层顶面的要求密度(δ_{h_1})渐变至深度为 h_k 处的规定密度(δ)。实际上当 h_k 值不太大时，其全部厚度可按 δ_{h_1} 填筑；当 h_k 值较大时，则宜适当分层(但不宜过多)定出要求密度并采用其上限值。

4. 减振措施

若在路堤饱和层顶面处的要求密度超过施工条件可能达到的压实密度时，则应考虑采用减振措施；

(1) 采用复式横断面，在路堤上层填筑粘性土，以减小下层砂土饱和层顶面的振动强度，从而

降低其要求密度。上层粘性土填筑厚度(h_s)可计算如下：

$$\text{由 } a'_k = a_0 e^{-\xi h_s}$$

$$\begin{aligned} \text{可得 } h_s &= -\frac{1}{\xi \log e} (\log a'_k - \log a_0) \\ &= \frac{1}{\xi \log e} (\log a_0 - \log a'_k) \quad (8-13) \end{aligned}$$

式中： a'_k ——相应于施工条件可能达到的压实密度的临界振动加速度($\text{cm}/\text{秒}^2$)，可利用图8—15查出，并取其最小值；

其余符号意义同前。

(2) 改善轨道结构以减小列车运行时对路基的振动作用强度，例如采用焊接长钢轨，铺设弹性垫板，和适当加大道床厚度等。

(三) 对于较低的粉细砂浸水路堤，若路堤基底地层亦属可能振动液化的粉细砂，且其天然密度小于要求的密度，由于会受到列车振动作用的影响，故应采取基底加固措施，例如振动压实，爆破砂桩或砂化法加固等。

(四) 施工注意事项

保证路堤砂体具有足够的密实度，是防止振动液化的关键。施工时必须按设计要求的填筑密度严格控制并注意其均匀性。砂体在动力作用下压实的效果较好，故宜采用振动压实方法或机械碾压方法。

三、设计示例

(一) 资料依据

1. 有某段河滩路堤，高5.9~13.3米，两侧设计洪水水位大致相等，浸水深5~8米，浸水持续时间2~3个月，设计洪水水位在路基面以下1.93米，毛细水上升高度约为0.5米，故路基面至路堤内饱和层顶面的深度为1.43米。

2. 填料采用当地的粉砂土，其试验资料如下：

(1) 颗粒组成：

砂 (mm) 粒		粉(mm)粒		粘土粒 (mm)
>0.25	0.25~0.1	0.1~0.05	0.05~0.005	<0.005
0.6%	50.2%	41.2%	3.0%	5.0%

(2) 孔隙比、比重及干容重：

$$\xi_{\max} = 1.162, \xi_{\min} = 0.596$$

$$J = 2.65, \delta_{\max} = 1.635\text{g}/\text{cm}^3$$

$$\delta_{\min} = 1.225\text{g}/\text{cm}^3$$

(3) 级配曲线及各特征粒径指标如图8—16所示。

(4) 休止角

天然状态 30.3° ，水下状态 28.7°

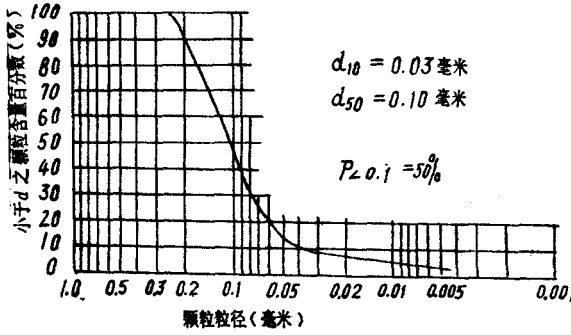


图 8-16 所用粉砂填料的颗粒级配曲线及特征粒径指标
(5) 渗透系数

砂体密度 δ (g/cm ³)	1.45	1.50	1.54
水温20℃时渗透系数 k (cm/秒)	3.12×10^{-8}	2.49×10^{-8}	2.13×10^{-8}

(二) 填料的特征粒径指标 d_{10} 、 d_{50} 、 $P_{<0.075}$ 均不能满足不发生振动液化的界限值，故需考虑振动液化问题。

(三) 路基面上的最大振动加速度按行车速度52km/hr计算为：

$$a_0 = 50 \times 52 = 2600 \text{ cm/秒}^2$$

路堤内饱和层顶面处的最大振动加速度为：

$$a_{1.45} = 2600 \times e^{-0.012 \times 1.45} \approx 719 \text{ cm/秒}^2$$

由图 8-13 查得在饱和层顶面处需要的相对密度 $D_{zr} = 0.81$ ，再按公式 (8-11) 求得该处的要求密度：

$$\delta_{1.45} = \frac{1.635 \times 1.225}{1.635 - 0.81(1.635 - 1.225)} = 1.54 \text{ g/cm}^3$$

(四) 规定的路堤填筑标准为： $D_r = 0.7$ ，相应的 $\delta = 1.485 \text{ g/cm}^3$

因 $\delta_{1.45} > \delta$ ，故需按公式 (8-12) 求算深度 h_k 。

根据填料的特征粒径指标，由图 8-15 查得相应的临界振动加速度的最小值为 380 cm/秒^2 ，

$$h_k = \frac{1}{0.0015 \log e} \cdot \log \frac{380}{719} = 426 \text{ cm}$$

引入安全系数 1.2，则设计采用的 $h'_k = 1.2 \times 4.26 = 512 \text{ m}$ ，

因此在距路基面为 $1.43 + 5.12 = 6.55 \text{ m}$ 以下路堤部分可按规定密度标准 (1.485 g/cm^3) 填筑；在 h_k 深度范围内由上而下的填筑密度宜由 1.54 g/cm^3 渐变至 1.485 g/cm^3 。为了施工便利实际上可分两层填筑，即在路基面以下 $0 \sim 3 \text{ m}$ 范围内要求密度达到 1.54 g/cm^3 ， $3 \sim 6.85 \text{ m}$ 范围内要求密度达

$$\text{到 } \frac{1.54 + 1.485}{2} \approx 1.51 \text{ g/cm}^3。$$

(五) 若施工条件不可能达到压实密度为 1.54 g/cm^3 时，则可采取在路堤上层填筑一般粘性土的措施，其需要的填筑厚度可按公式 (8-13) 计算：

根据施工可能达到的压实密度 1.50 g/cm^3 ($D = 0.72$)，由图 8-15 查得相应的临界振动加速度 $a'_k \approx 440 \text{ cm/秒}^2$ 。

路基面上的最大振动加速度 $a_0 = 2600 \text{ cm/秒}^2$
一般粘性土的振动衰减系数 $\xi = 0.012 \text{ cm}^{-1}$

$$h_s = \frac{1}{0.012 \log e} (\log 2600 - \log 440) = 150 \text{ cm}$$

考虑引用安全系数 1.2，则路堤上层填筑一般粘性土的厚度为 $1.2 \times 1.50 = 1.8 \text{ m}$ 。

采取此措施后，路堤上层粘性土与下层粉砂土接触面处的振动加速度将衰减为：

$$a_{1.5} = 2600 \times e^{-0.012 \times 1.8} \approx 300 \text{ cm/秒}^2$$

相应于这一振动加速度的振稳密度约为 1.47 g/cm^3 。此值低于规定填筑密度 (1.485 g/cm^3)，故路堤下层粉砂土按规定密度填筑是可行的。

第九章 水库地区路基

第一节 概 述

一、基本概念

水库建成后,改变了原有河岸和沟谷的情况。沿水库边岸或跨越其支流修筑铁路,受库水位的涨落和渗透、波浪冲刷、坍岸、受地下水壅升而引起大孔性土的湿陷以及水库淤积等影响,因此,水库路基的设计需要根据不同的具体情况慎重考虑。

(一) 水库类型

1. 按其作用可分为以下三种:

(1) 蓄水库。主要是灌溉、发电、供水及防洪用的。

(2) 拦泥库。主要是截留上游泥沙,以防下游水库淤积,且有拦泥淤地的作用。

(3) 滞洪库。主要是削减洪峰流量,保证下游河道安全,防止发生溢堤决口的灾害。这种水库只在洪水时蓄水,一般情况下不蓄水。

2. 按其库容形态可分为湖泊型水库和河谷型水库。前者风浪较大,后者风浪较小。

(二) 水库等级

以往习惯上将水库分为大、中、小三个等级,区分标准大致如下:

大型水库——库容量大于1亿立方米;

中型水库——库容量0.1~1.0亿立方米;

小型水库——库容量小于0.1亿立方米。

64年9月水利电力部颁发的《水电工程等级划分及设计标准(草案)》中,将水库分为五级,如表9-1。

水库等级划分表 表 9-1

水库等级	蓄水量 亿 m ³	设计洪水频率	校核洪水频率
1	>10	0.1	0.01
2	1.0~10	1	0.1
3	0.1~1.0	2	0.2
4	0.01~0.1	5	0.5
5	<0.01	10	1.0

编者注:洪水频率系以 $\frac{1}{100}$ 作单位,0.1等于 $\frac{1}{1000}$ 洪水频率。

(三) 与筑路有关的水库水位及其含义

1. 校核水位(亦称强迫水位,非常壅水位)

即校核洪水时的坝前水位。因为水库大坝不仅需要保证在设计洪水时的安全,还需要保证在非正常状态下出现特大洪水时的安全。

2. 设计洪水位

设计所考虑的标准洪水频率时的坝前水位。

3. 正常高水位(亦称设计蓄水位、工作水位、兴利水位、设计发电水位)

非汛期,水库允许蓄水的坝前高水位,该水位在水库的常年运用中维持时间较长。

4. 设计低水位(亦称最低工作水位、消落水位、最低发电水位)

保证最低发电量或最小灌溉量或城市用水量时的坝前水位。

5. 死水位(亦称死库容水位)

相当于输水洞或引水洞进水口底槛高程之水位,在此水位时,水库已基本泄空,不能发电,不能灌溉。

上述各种水位如图9-1所示

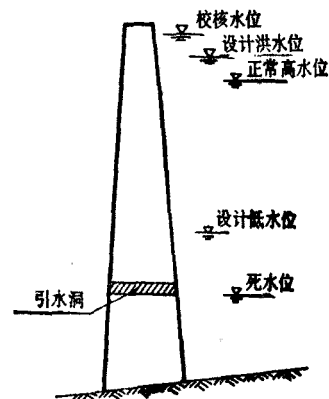


图 9-1 与筑路有关的各种水库水位的示意图

(四) 水库坍岸问题

水库蓄水后,库岸主要在波浪的作用下,岸坡被淘刷、磨蚀、搬运而产生的变形,一般简称坍岸。

蓄水初期的3~4年内,坍岸速度最快,其宽