



T/CECS G XXXX: 2020

中国工程建设标准化协会标准

Standard of China Association for Engineering Construction  
Standardization

公路软质岩路堤设计与施工技术规范

(征求意见稿)

Technical Specification for Design and Construction of Highway

Soft Rock embankment

中国工程建设标准化协会 发布

Issued by China Association for Engineering Construction Standardization

中国工程建设标准化协会标准

公路软质岩路堤设计与施工技术规程

Technical Specification for Design and Construction of Highway  
Soft Rock embankment

T/CECS G XXXXX-2020

征求意见稿

主编单位：中交第二公路勘察设计研究院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

实施日期：2020年××月××日

××××××(出版单位)

# 中国工程建设标准化协会 公告

20XX 年第 XX 号

关于发布《公路软质岩路堤设计与施工技术规程》(CECSG ×  
××××—2020) 的公告

现发布中国工程建设标准化协会标准《公路软质岩路堤设计与施工技术规程》(CECSG ×××××—2020), 自 2020 年××月××日起实施。

《公路软质岩路堤设计与施工技术规程》(CECSG ×××××—2020) 的版权和解释权归中国工程建设标准化协会所有, 并委托主编单位中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责日常解释和管理工作。

中国工程建设标准化协会

2020 年××月××日

# 前 言

根据中国工程建设标准化协会公路分会印发的“关于开展2018年第一批中国工程建设协会标准（CECS G）制修订项目编制工作的通知”（中建标公路 [2018]35号）的要求，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司承担《公路软质岩路堤设计与施工技术规程》（以下简称本规程）的制定工作。

为科学、合理统一软质岩路堤填料的分类利用标准，规范软质岩路堤设计方法、施工工艺和质量检测及控制方法等，提高软质岩路堤长期结构性能等，本规程编写组在总结、归纳多年来公路软质岩路堤建设经验和科技成果基础上，通过大量的文献调查、现场调研及验证试验等工作，并广泛征求了有关单位和专家意见，经过反复讨论修改，最终形成本规程。

本《规程》的主要内容共分6章、3个附录，主要内容包括：1.总则；2.术语、符号；3、软质岩填料分类；4、软质岩路堤设计；5、软质岩路堤施工；6、软质岩路堤检测与监测；附录A.软质岩填料干湿循环强度试验；附录B.软质岩填料冻融循环强度试验；附录C.软质岩填料路基压实粒度分形维数控制标准。

本规程由中国工程建设标准化协会公路分会负责归口管理，由中交第二公路勘察设计研究院有限公司负责具体技术内容解释。请各有关单位在使用过程中注意总结经验，将发现的问题和意见函告本规程日常管理组。联系人：张静波（地址：武汉市经济技术开发区创业路18号，中交第二公路勘察设计研究院有限公司，邮编：430056；联系电话：027-84214233；电子邮箱：22730299@qq.com），以便修订时参考。

**主编单位：**中交第二公路勘察设计研究院有限公司

**参编单位：**湖南大学、中国科学院武汉岩土力学研究所、中交第三公路工程局有限公司、湖南省交通科学研究院有限公司

**主 编：**张静波

**主要参编人员：**\*\*\*、\*\*\*

**主 审：**张留俊

**主要审查人员：**\*\*\*、\*\*\*

## 目录

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 1 总则.....                      | 1  |
| 2 术语、符号.....                   | 2  |
| 2.1 术语.....                    | 2  |
| 2.2 符号.....                    | 3  |
| 3 软质岩填料分类.....                 | 4  |
| 3.1 一般规定.....                  | 4  |
| 3.2 软质岩分类指标.....               | 4  |
| 3.3 软质岩填料的分类.....              | 5  |
| 4 软质岩路堤设计.....                 | 7  |
| 4.1 一般规定.....                  | 7  |
| 4.2 软质岩填料利用要求.....             | 8  |
| 4.3 软质岩路堤典型结构.....             | 9  |
| 4.4 防排水工程设计.....               | 12 |
| 4.5 支挡及防护工程设计.....             | 14 |
| 5 软质岩路堤施工.....                 | 16 |
| 5.1 一般规定.....                  | 16 |
| 5.2 施工准备.....                  | 16 |
| 5.3 软质岩路堤施工.....               | 17 |
| 5.4 雨期填筑施工.....                | 20 |
| 5.5 防排水工程施工.....               | 21 |
| 5.6 防护与支挡工程施工.....             | 21 |
| 6 软质岩路堤检测与监测.....              | 23 |
| 6.1 一般规定.....                  | 23 |
| 6.2 施工过程中的质量检测.....            | 23 |
| 6.3 填筑完工后的检测.....              | 26 |
| 6.4 软质岩路堤监测.....               | 28 |
| 附录 A. 软质岩填料干湿循环强度试验.....       | 31 |
| 附录 B. 软质岩填料冻融循环强度试验.....       | 32 |
| 附录 C. 软质岩填料路基压实粒组分形维数控制标准..... | 34 |

## 1 总则

**1.0.1** 为了充分利用公路路堑及隧道开挖的软质岩填料，节约土地、保护环境，降低工程造价，并保证软质岩路堤工程质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于新建或改扩建公路软质岩路堤的设计与施工。

**1.0.3** 公路软质岩路堤设计与施工应按照因地制宜、就地取材、节约土地、保护环境的原则进行综合设计，保证路基具有足够的强度、稳定性和耐久性。

**1.0.4** 软质岩路堤设计与施工应贯彻国家有关技术经济政策，积极稳妥地采用新技术、新材料、新工艺、新设备。

**1.0.5** 软质岩路堤的设计与施工除应满足本规程的要求外，尚应符合国家及行业相关标准规范的规定。

征求意见稿

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 软质岩 weak rock

软质岩是指坚硬程度低，饱和单轴抗压强度 $R_w \leq 30\text{MPa}$ 的岩石。

#### 2.1.2 耐崩解性指数 slake durability index

岩石在经过干燥和浸水两个标准循环之后，岩石残留的大于2mm颗粒质量与其原质量之比，以百分数表示。该指标反映岩石抵抗软化和崩解作用的能力。

#### 2.1.3 饱和单轴抗压强度 saturated uniaxial compressive strength

饱和状态下试样抵抗单轴压力时保持自身不被破坏的极限应力。

#### 2.1.4 预崩解 pre-disintegration

岩质路基填料在压实填筑前，预先进行崩解处理的过程。

#### 2.1.5 路基标准湿度状态 standard humidity state of subgrade

按照最佳含水率压实填筑，未经历环境作用的路基湿度状态。

#### 2.1.6 路基平衡湿度状态 equilibrium humidity state of subgrade

公路建成通车后，在自然环境作用下，路基湿度达到与周围环境相平衡的稳定湿度状态。

#### 2.1.7 干湿循环或冻融循环动态回弹模量 dynamic resilience modulus after dry-wet or freeze-thaw cycles

试验室内，路基土在经历干湿或冻融的周期性反复过程后所测得的动态回弹模量值。

#### 2.1.8 干湿循环或冻融循环承载比 california bearing ratio (CBR) after dry-wet or freeze-thaw cycles

试验室内，路基土在经历干湿或冻融的周期性反复过程后所测得的加州承载比 (CBR)。

#### 2.1.9 刚度调节层 stiffness adjusting layer

设置于路面与软质岩填筑体之间，起调节路堤刚度作用的路基结构层，可采用级配碎石或未筛分的硬质岩石渣填筑。

#### 2.1.10 孔隙率 porosity

填料中孔隙体积与总体积之比。

#### 2.1.11 压实沉降差 compaction settlement difference

路堤连续两遍压实完成时所对应的高程之差。

### 2.1.12 粒度分形维数 fractal dimension of particle size distribution

散体材料粒度组成的分形维数。

## 2.2 符号

$R_w$ ——饱和单轴抗压强度；

$Id_2$ ——耐崩解性指数；

$w$ ——含水率；

$w_{opt}$ ——最佳含水率；

$\rho_d$ ——干密度；

$\rho_{d\max}$ ——最大干密度；

$n$ ——孔隙率；

$D$ ——粒度分形维数。

$E_0$ ——平衡湿度状态下路基回弹模量设计值；

$K_s$ ——路基回弹模量湿度调整系数；

$K_\eta$ ——干湿循环或冻融循环条件下路基土模量折减系数；

$M_R$ ——标准状态下路基动态回弹模量值。

### 3 软质岩填料分类

#### 3.1 一般规定

- 3.1.1 软质岩路堤填筑时应视路堤不同结构层位要求和所处环境特征进行分级利用。
- 3.1.2 具有膨胀性的软质岩不宜直接作为路基填料，如确需采用则必须进行专项论证。

#### 3.2 软质岩分类指标

##### 3.2.1 崩解性

1 软质岩石崩解性根据矿物鉴定结果或现场调查结果，按以下方式进行分级。

1) 岩石不含膨胀性矿物，或新鲜岩面暴露在外一年及以上表面没有新的风化裂纹的，判定为不崩解软质岩；

2) 岩石烘干后浸水24小时会崩解的，判定为易崩解软质岩。

3) 不满足第（1）、（2）条的软质岩，可判定为难崩解软质岩。

2 当具备试验条件时，可采用耐崩解仪对软质岩进行耐崩解指数测试，按耐崩解性指数将软质岩崩解性分为三类：

| I <sub>d2</sub> 值 | 分类  |
|-------------------|-----|
| >98               | 不崩解 |
| 90~98             | 难崩解 |
| 0~90              | 易崩解 |

3 当依据耐崩解性指数判定结果与现场调查判定结果冲突时，应根据现场调查、试验结果以及类似工程经验综合评判确定。

##### 条文说明

确定软质岩是否具有崩解性对能否利用或者如何利用软质岩作为路堤填料至关重要。不具备崩解性的软质岩可以按普通填料（填石）进行施工。岩石是否崩解，一方面取决于岩石中是否含有膨胀性矿物，另一方面也取决于岩石的构造和结构。膨胀性矿物是岩石崩解的物质基础，因此不含膨胀性矿物的软质岩，可定为“不崩解软质岩”。膨胀性矿物一般是指蒙脱石、伊利石、绿泥石等黏土矿物，也包括具有其他吸水膨胀、失去水收缩特性的矿物。含有膨胀性矿物的软质岩，因其结构、构造组合特殊也有可能不崩解，需要看它在处于干湿循环环境中的表现来判定。

岩石的崩解是一个时间过程，一方面，1~2次室内干湿循环试验并不能确定岩石是否具有崩解性，另一方面，无论何种岩石在无限次的干湿循环试验下一定会崩解，因此很难用一个固定次数的干湿循环试验来判定岩石是否具有崩解性。判定岩石是否崩解性岩石，还需要从工程角度来进行。因为本规范所指的软质岩，都将是当地用来筑路的，因此基于当地气候环境条件下的野外观察，

是本规范确定软质岩是否崩解性岩石的基本原则。

裸露一年以上的新鲜岩石表面没有风化裂纹的，由于岩石经历了一个完整的风化年度，如果还没有出现风化裂纹，可说明岩石在当地气候环境下是不崩解的，或者其崩解性在路堤工程中的危害可以忽略，因此可判定为不崩解岩石。

如果岩石不属于“不崩解岩石”，也不属于“易崩解岩石”，那么可以归为“难崩解”岩石。在湖南省平江地区存在这样的红砂岩，其饱和单轴抗压强度接近 20MPa，烘干浸水 24 小时不崩解，开挖暴露后一定时间内，并不发生明显的崩解，但是如果持续观察，可发现在经过几个月后，岩石表面会逐渐出现裂纹，最终岩石会崩解成大小不等的碎块，这类岩石就属于“难崩解”岩石，在工程中要格外注意，如果误判为“不崩解”岩石，会带来工程上的损失。

### 3.2.2 浸水崩解性状

岩石在105℃温度下烘干至恒重，完全冷却后，浸水24小时崩解的性状可分为三类：

- 1 烘干浸水24小时崩解为泥状，为I类岩；
- 2 烘干浸水24小时崩解为块状，为II类岩；
- 3 烘干浸水24小时不崩解，为III类岩。

#### 条文说明

软质岩烘干后几乎失去所有水分，使岩石内的孔隙、裂隙表面有较强烈的吸水能力，浸水后可产生较强烈的可令岩石崩解的作用力，因此烘干浸水试验可用来测试崩解性岩石的基本崩解形态，为如何处治它提供重要信息。本条与3.2.1条平行，并不重叠或者冲突。前述湖南省平江地区的饱和单轴抗压强度接近20MPa的某类砂岩，一次烘干浸水就不会崩解，可判断为III类岩，但不属于“不崩解岩石”。

### 3.3 软质岩填料的分类

软质岩填料的分类，按表3.3.1进行。

表 3.3.1 软质岩填料分类

| 软质岩填料<br>分类 | 崩解性 | 崩解性状  | 岩石坚硬程度 |
|-------------|-----|-------|--------|
| A类          | 不崩解 | III类岩 | —      |
| B类          | 难崩解 | III类岩 | 较软岩    |
| C类          | 难崩解 | III类岩 | 软岩、极软岩 |
| D类          | 易崩解 | II类岩  | —      |
| E类          | 易崩解 | I类岩   | —      |

注：岩石坚硬程度按现行《公路工程地质勘察规范》（JTG C20）确定。

## 条文说明

表3.3.1所示的分类，其工程含义如下：

(1) A类软质岩填料是各种母岩岩块不具备崩解、可按一般填石路堤要求来对待的填料。

(2) B类软质岩填料是母岩岩块难崩解且强度较高的填料。这类填料的母岩在施工中采用常规设备很难破碎，但在运营中岩石会逐渐崩解，可导致路基建成后发生长期持续的沉陷病害。此类填料路堤，在施工中应制定特殊的施工工艺确保充分压实，确保路堤本身不产生崩解沉陷病害，如果不能则必须对路堤作外包封水处理。

(3) C类软质岩是母岩岩块难崩解，但强度较低的填料。这类填料路堤在施工中采用常规设备和工艺施工，经充分压实后就能消除填料崩解性的危害。

(4) D类软质岩是崩解性较强，崩解产物成块状的岩石。母岩强度较高的( $>15\text{MPa}$ )的填料，可通过预崩解或机械破碎，将其破碎到设计要求的级配，压实后可消除填料崩解性的危害；母岩强度较低的( $5\sim 15\text{MPa}$ )的填料，采用常规设备和工艺施工，经充分压实后就能消除填料崩解性的危害。

(5) E类软质岩是崩解性较强的岩石，崩解产物成渣状的岩石。这类填料的母岩填料强度普遍较低( $\leq 5\text{MPa}$ )，采用常规设备和工艺施工，经充分压实后就能消除填料崩解性的危害。这类填料若长期浸水，往往还存在CBR强度不足的问题，需要采用掺石灰、水泥或其他材料的方式进行改良，在使用中路堤还要做好防排水措施。

需要澄清的是，表3.3.1所列A~E类填料的级差，从崩解性上看是从不崩解~难崩解~易崩解逐渐过渡，但是从工程性质上看，并非从好到差。从工程角度上看，B类填料是可能最差的，因为这类填料，强度高，难崩解。“强度高”表明，在施工中常规的施工设备很难将其破碎到理想的级配，因此压实困难；“难崩解”不是“不崩解”，这意味着如果压实不到位，工程竣工后，在未来很长的时间内该路段都将面临路堤不均匀沉降的问题，导致路面结构的长期维修，公路使用者怨声载道，公路运管部门不堪重负。E类填料在表3.3.1中排在最后，但是其崩解迅速，崩解产物为颗粒级配较为稳定的细粒土，如果崩解后的细粒土的CBR值能达到设计/规范要求最好，如果达不到，通过物理和化学方法进行改良处治也较容易，虽然工程造价相对高一点，但是工程竣工后没有隐患，工程单位还是能接受。

沉积和变质成因的软质岩往往成层分布，工程现场开挖出来的填料普遍由多种具有不同崩解性的岩石组成，此时应综合判断，按不利情况处理。

## 4 软质岩路堤设计

### 4.1 一般规定

4.1.1 软质岩路堤设计时应收集资料内容如下：

- 1 拟建公路沿线地形地貌、软质岩分布范围、气候条件、气象规律、干湿影响区、地下水分布及埋藏条件、工程地质勘察试验资料；
- 2 软质岩填料的物理力学性质试验资料；
- 3 拟建公路预测交通量及其交通组成，以及汽车轴载谱调查资料；
- 4 拟建公路路基路面结构组合及路线纵、横面设计资料。

4.1.2 软质岩路堤设计应充分考虑环境水对路基结构长期性能的影响，设置完善的防排水系统，季冻区软质岩路基还应采取防冻害措施。

#### 条文说明

水对软质岩路基的长期性能影响较大，B类、C类、D类、E类软质岩在水的作用下会发生软化，在干湿循环作用下强度会不断衰减。季冻区无防护的软质岩路堤在冻融循环作用下发生冻胀和融沉现象，导致路堤发生不均匀沉降变形。因此在设计时应充分了解当地的气候条件、气象规律，调研软质岩路基不同路段干湿影响区、地下水分布及埋藏条件等，为软质岩路堤防排水设计提供充分依据。

4.1.3 软质岩路堤边坡稳定性分析和支挡防护设计时，必须考虑降雨、冻结、地表水下渗和毛细水上升影响范围内软质岩填料抗剪强度折减，折减系数宜由试验确定。

#### 条文说明

B类、C类、D类、E类软质岩在水的作用下会发生软化；通常情况下处于干燥状态下软质岩强度较高，但在水的湿化作用下其强度会迅速降低，软质岩路基破坏多数发生雨季。暴雨季节部分软质岩路基由于雨水的入渗，可能处于饱和状态，此时也是软质岩路基最危险时刻，设计应充分考虑由于雨水渗入导致软质岩填料强度的折减。

4.1.4 软质岩路堤设计时宜避免陡坡路堤和高填路堤，当路基填方边坡高度超过20m，宜结合路线方案与桥梁或分离式路基进行比选。如确实无法避免，则应采取相应的工程技术措施，以提高软质岩路堤的稳定性、减小工后沉降。

4.1.5 软质岩路堤边坡稳定设计方法详见《公路路基设计规范》（JTG D30-2015），软质岩路堤稳定性分析中必须考虑软质岩路堤与地基结合面的滑移稳定性。在稳定性不满足设计要求时，需因地制宜地采取适当的支挡加固措施。

4.1.6 高速公路和一级公路的软质岩高路堤、陡坡路堤等应采用动态设计，动态设计应以完整的施工设计图为基础。

## 4.2 软质岩填料利用要求

4.2.1 除A类软质岩外，其他类软质岩填料不得用于浸水路堤洪水位以下和低洼易积水路段积水深度以下范围，不得用于桥涵基坑及桥涵、通道过渡段的回填。

### 条文说明

浸水路堤洪水位以下和低洼易积水路段积水深度以下范围，由于在此范围内的路堤长期处于饱水状态，软质岩湿化变形较大；另外，长期处于饱和状态路堤稳定性大大降低，因此软质岩路堤在这些范围内应换填砂砾、硬质岩石渣等透水性材料。桥涵基坑及桥涵、通道过渡段不采用软质岩填筑，是为了防止路基和结构物之间的差异沉降而导致“跳车”现象的发生。

4.2.2 路基填挖交界处、陡坡路堤等，宜避免采用软质岩填料填筑，当不可避免时应采取加固、支挡、防排水、防冻等综合措施，保证路基的稳定性，减少路基的不均匀变形，防止路面开裂。

4.2.3 软质岩用作路基填料时最小承载比应符合表4.2.3的规定。

表 4.2.3 路堤填料最小承载比要求

| 项目分类    |          | 路面底面<br>以下深度<br>(m) | 填料最小承载比 (CBR) (%) |          |             |
|---------|----------|---------------------|-------------------|----------|-------------|
|         |          |                     | 高速公<br>路、<br>一级公路 | 二级<br>公路 | 三、四级<br>公 路 |
| 上路<br>堤 | 轻、中等及重交通 | 0.8~1.5             | 4                 | 3        | 3           |
|         | 特重、极重交通  | 1.2~1.9             | 4                 | 3        | -           |
| 下路<br>堤 | 轻、中等及重交通 | 1.5 以下              | 3                 | 2        | 2           |
|         | 特重、极重交通  | 1.9 以下              |                   |          | -           |

- 注：1) CBR 值应根据当地气候特点选用附录 A 或附录 B 的试验方法测得；  
 2) 当填料 CBR 值达不到表列要求时，路基填筑时可采用掺石灰或其它稳定材料处理；  
 3) 当三、四级公路铺筑沥青混凝土和水泥混凝土路面时，应采用二级公路的规定。

### 条文说明

路基填筑应选择合适的填筑材料，目前承载比CBR试验仍然是施工中填筑材料选择的有效方法。路基填料承载比CBR试验结果受试验环境的影响较大，试验环境宜根据路基实际运行中的自然环境综合确定。软质岩路基在雨水作用下发生软化现象比一般路基更为明显。另外，在南方多雨地区应考虑干湿循环对填料承载比CBR的影响，北方还需结合冻融循环环境综合考虑。大量试验研究表明，前3次干湿循环或冻融循环作用下，填料承载比CBR衰减相对明显，第4、5次干湿循环或冻融循环作用下填料承载比CBR趋于稳定。因此本规程确定干湿循环或冻融循环最大次数为5次。当填料CBR值

达不到表列要求时，E类料可以掺水泥或者石灰的方式进行改良。

4.2.4 路基平衡湿度状态下的路基回弹模量 $E_0$ 应按式(4.2.4-1)计算。

$$E_0 = K_s \cdot K_\eta \cdot M_R \quad (4.2.4-1)$$

式中： $E_0$ ——平衡湿度状态下路基回弹模量设计值 (MPa)；

$M_R$ ——标准状态下路基动态回弹模量值 (MPa)；

$K_s$ ——路基回弹模量湿度调整系数，为平衡湿度状态下的回弹模量与标准状态下的回弹模量之比；

$K_\eta$ ——干湿循环或冻融循环条件下路基回弹模量折减系数，通过试验确定。

#### 条文说明

路基调研和相关试验结果表明,公路路基通车运营后,在自然环境作用下路基湿度会发生重分布,并最终处于一种平衡湿度状态。路基回弹模量和路基的湿度状况密切相关,湿度增大时路基回弹量减少,特别是对于水敏感性填筑材料,路基回弹模量随路基湿度增加而迅速衰减。另外,路基在干湿循环和冻融循环作用下,回弹模量也会发生衰减,设计时应充分考虑由于干湿循环或冻融循环导致路基回弹模量的变化。

4.2.5 路床顶面回弹模量和竖向压应变应满足现行《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40)和《公路沥青路面设计规范》(JTG D50)的要求。当软质岩路堤填料的强度不满足要求时,可对其进行物理或化学改性处理,改性掺量应根据试验确定。

#### 条文说明

路基调研和相关试验结果表明,平衡湿度状态下部分D类、E类软质岩承载比CBR、回弹模量较低,不能满足路基对填筑材料强度的要求;对于D类软质岩可采用砂、砾石、碎石等进行掺合处治,对于E类软质岩可采用无机结合料进行稳定处治;处治设计应通过物理力学实验,确定处治材料及其掺量、以及处治后的路基性能指标等。

### 4.3 软质岩路堤典型结构

4.3.1 除采用A类软质岩进行路堤填筑外,当路堤底部处于洪水位以下或低洼易积水路段积水深度以下时,则路堤在该范围内应填筑砂砾、硬质岩石渣等透水性材料。

4.3.2 路堤采用B类软质岩填筑时,宜采用塑性指数不小于12低液限粘性土进行全封闭防护,封闭厚度宜不小于2.0m,具体方案详见图4.3.2。

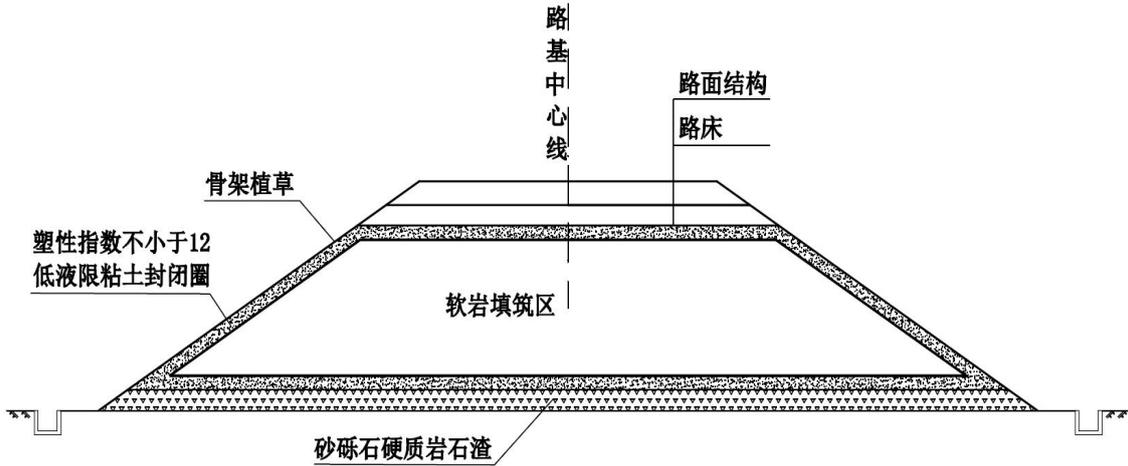


图 4.3.2 B类软质岩路堤典型结构图

#### 条文说明

B类软质岩由于施工时破碎难度较大，后期又会进一步崩解，此类软质岩路堤是设计的难点。为了防止此类软质岩路基发生工后变形，填筑过程中采用非常规施工机械进行预破碎，并宜采用塑性指数不小于12低液限粘土进行全封闭处理，以形成一个封闭圈，封闭圈在路堤两侧部分的水平宽度不宜小于2.0m（刷坡后）。

4.3.3 零填路段，若路面下地基为D类、E类软质岩，应相应超挖80cm，并采用级配碎石或未筛分硬质岩石渣进行换填处理，换填层下应防渗土工材料以阻断自由水的下渗。地下水丰富的挖方路段，边沟下宜设置渗沟，具体方案详见图4.3.3。

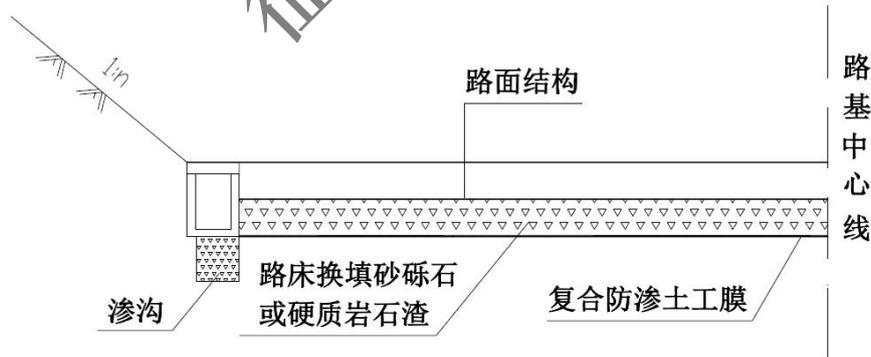


图 4.3.3 零填路段典型结构示意图

#### 条文说明

D类、E类软质岩由于岩体自身强度不高，再加上施工过程中受施工车辆及其它机械的扰动，岩体结构受损、强度下降，基于公路路面设计对路基刚度的要求，有必要采取换填处理。D类、E类软质岩路床换填深度为50~80cm，岩性越差换填深度越大。换填层下方设置防渗土工材料是为了阻止由于雨水渗入导致D类、E类软质岩路基发生软化。

4.3.4 软质岩路堤横向填挖交界处：宜在路床范围铺设双层高土工格栅，铺设长度为填挖交界

处两侧各不小于8m，当路幅宽度小于8m时，可满铺高强土工格栅，其边缘宜采用反包处理。具体方案详见图4.3.4，图中尺寸均以厘米计。

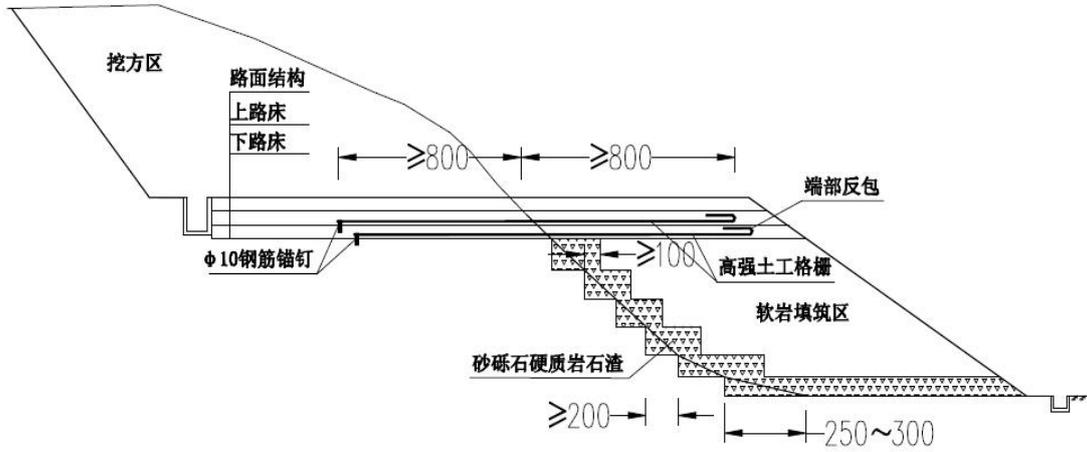


图 4.3.4 软质岩路堤横向填挖交界处治横断面示意图

4.3.5 路基纵向填挖交界处：宜在路床范围铺设双层高强土工格室，路床范围挖方段铺设高强土工格室长度不宜小于8m，填方段高强土工格室长度应覆盖过渡段，并延伸至一般填方区的长度不宜小于5m。具体方案详见图4.3.5，图中尺寸均以厘米计。

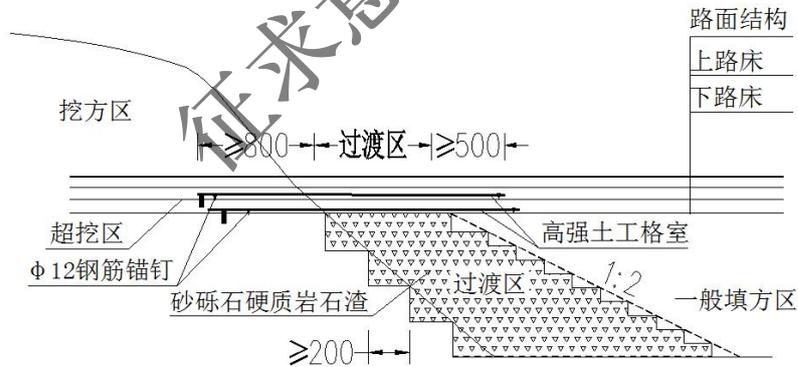


图 4.3.5 软质岩路堤纵向填挖交界处治横断面示意图

4.3.6 当填挖交界处地表横坡陡、路基填挖高差较大时，可在路床范围设置两层或三层高强土工格栅，层间距应不小于最小压实厚度，且不宜大于0.4m，并在坡脚设置必要的抗冲刷及支挡设施（挡土墙或桩板墙）。具体方案详见图4.3.6，图中尺寸单位均以厘米计。

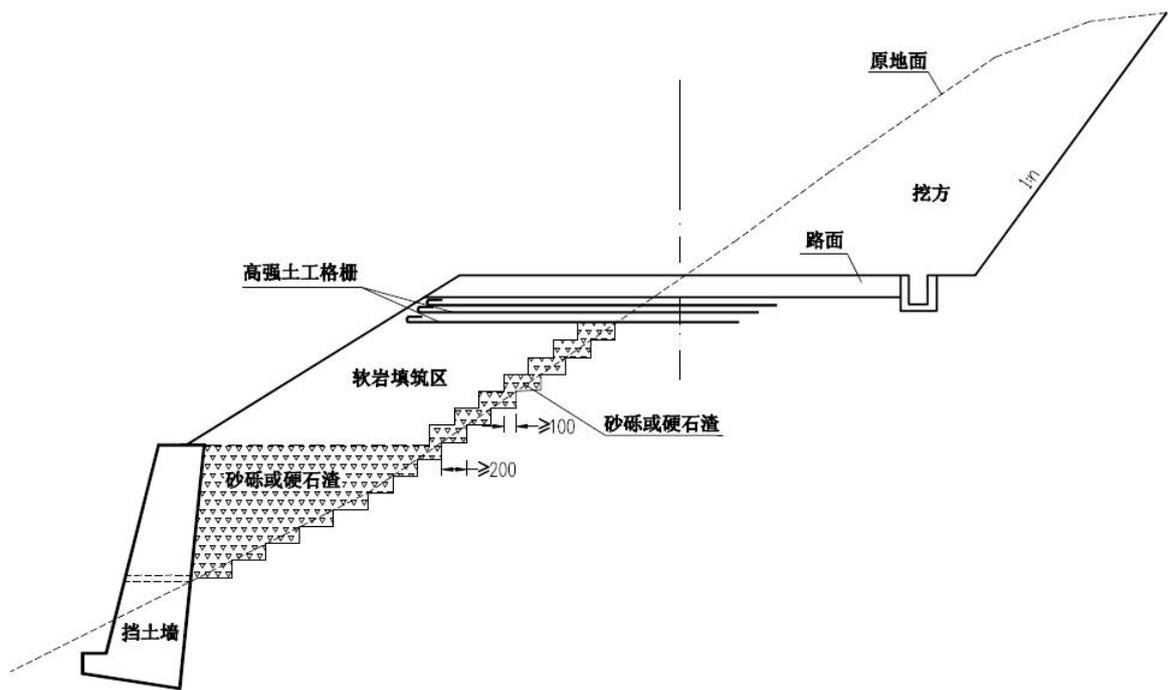


图 4.3.6 软质岩陡坡路堤处治横断面示意图

#### 条文说明

填挖交界处是公路路基发生不均匀沉降变形的多发地段。采用土工合成材料进行路床处理，有利于减少路基工后不均匀沉降变形。路堤内填挖交界处应开挖台阶，台阶宽度不小于200cm，宜采用砂砾或硬质岩石渣回填。横向填挖交界处采用高强土工格栅进行加固处理，土工格栅加固时边缘宜采用反包处理，以提高路床加固效果。通常情况下路基纵向填挖交界处路线长，路基病害多发，因此路基纵向填挖交界处采用高强土工格室进行加固处理。

### 4.4 防排水工程设计

4.4.1 软质岩路段防排水设施应根据沿线气象、水文、软质岩填料特性、以及桥涵和隧道设置情况因地制宜、全面规划、合理布局，地表排水设计应与坡面防护工程设计综合考虑。

4.4.2 软质岩路堤应采取防、排、截相结合的综合措施，及时拦截有可能进入路界面的地表水，排除路基内自由水，隔离地下水。避免路基土体软化变形导致路基破坏的原则进行排水设计，还应采取有效措施防止坡面冲刷。

4.4.3 B、C、D、E类软质岩路堤高度大于8m应采用路面集中排水系统排除路表水。

4.4.4 软质岩低路堤及路界范围地面低于路界外侧地面的填方路段，应在挖方边坡或填方边坡坡脚外设置边沟汇集和排泄降落在坡面和路面上的表面水。

4.4.5 中央分隔带排水渗沟宜设置在通讯管道之下，渗透顶面和回填土之间应设置反滤层，排水渗沟沟底和沟侧应采用防渗土工布包裹封闭，防止雨水渗入路堤内部。横向排水管宜采用直径为

315mm的塑料管。降雨量较小中央分隔带较窄时，中央分隔带可采用表面铺面封闭分散排水。

条文说明

中央分隔带是雨水入渗路基的主要通道，对于软质岩路基中央隔离带的防排水措施尤为重要。工程实践表明横向排水管若采用直径为100~200mm的塑料管，排水管直径偏小，不利于雨水的快速排放，因此本次将横向排水管直径增加到315mm。

4.4.6 软质岩高路堤坡面径流量大时，可在边坡中部设置平台排水沟。D类、E类软质岩填筑的路堤，边坡平台及护坡道应采用浆砌片石或现浇混凝土封闭。

4.4.7 在填挖交界、半填半挖、地下水位较高的低填路段及地下水丰富的软质岩挖方路段均应设置渗沟，渗沟顶面与回填土之间应设置反滤层，渗沟尺寸视地下水情况而定，但不宜小于30cm×30cm。

4.4.8 陡、斜坡路段软质岩路堤，应每填筑3m高路堤沿山体走向方向设置一道纵向碎石渗沟，截排地下水及顺斜坡渗入的地表水，渗沟尺寸不宜小于30cm×30cm，渗沟沟内用作排水和渗水的填充料在使用前须经过筛选和清洗。陡坡或斜坡软质岩路堤的排水沟，宜设置跌水等消能结构物，避免其出口下游的桥涵自然水道或农田收到冲刷。

4.4.9 位于冻土地区的软质岩路段地表、地下排水设施设计应考虑多年冻土地区的特殊性，避免排水设施或排水不良对冻土稳定性的影响。排水设施宜远离软质岩路路基的坡顶或坡脚。边沟下的暗埋管（沟）应设置在最大路基冻深线之下，暗埋管（沟）出水口应采取包围防冻措施。

条文说明

地表水入渗加剧了冻土地区路基冻胀融沉灾害的发生。因此，要求整个排水系统应当与路堤坡顶或坡脚保持足够的距离，距离大小根据冻土的含(水)冰量确定。

4.4.10 软质岩路堤渗沟采用混凝土时，在沟壁与含水层接触面以上高度，应设置一排或多排向沟中倾斜的渗水孔，沟壁外侧应填筑粗粒透水性材料或土工合成材料形成反滤层。

4.4.11 路堤横向排水沟沟底纵坡由中心向两侧为4%；横向排水沟与路堤边坡排水沟应相接将水排出路基。

条文说明

路基排水结构应综合考虑地形地貌、汇水面积、暴雨强度、路基填挖情况等，经水文计算后确定。边沟、排水沟的断面尺寸应保证全部设计流量而不溢出沟外。

4.4.12 当软质岩路堤基本成型或跨雨季填筑时，路堤边坡高度大于8m地段宜每隔30m左右于路堤边坡上设置临时排水沟，路堤边缘设置拦水埂将雨水集中排出，以免冲毁路基。

4.4.13 当黏质土地段地下水位埋深小于0.5m或粉质土地段地下水位埋深小于1.0m时，软质岩路

堤底部宜设排水垫层和隔离层。

#### 4.5 支挡及防护工程设计

4.5.1 软质岩路堤边坡应设置有效的坡面防护工程，应根据当地气候、水文、地形和地质条件及软质岩填料性质，采取工程防护和植物防护相结合的综合措施，防止路基病害，保证路基稳定，并与周围环境相协调。

##### 条文说明

软质岩路基在运营过程中受自然环境影响较大。特别是在雨水的作用下发生路基软化。为了保证软质岩路基具有足够的强度和稳定性，避免软质岩路基病害发生，采取合理的工程防护措施是必须的。

4.5.2 当路堤边坡高度较高，因软质岩填料强度折减导致边坡稳定性不能满足《公路路基设计规范》要求时，可在两侧边坡内分层铺设高强土工格栅或其它加筋材料。

4.5.3 路堤采用A类、B类、C类软质岩填筑时，边坡宜采用骨架植草防护。对于B类软质岩宜采用塑性指数不小于12低液限粘土进行全封闭处理，以形成一个封闭圈，封闭圈在路堤两侧部分的水平宽度不宜小于2.0m（刷坡后）。对于C类软质岩路堤当采用骨架植草防护时，在其两侧部分宜设置水平宽度不小于0.5m（刷坡后）的塑性指数不小于12的低液限粘性土封闭层。

##### 条文说明

B类软质岩路堤在软质岩填筑区外宜设置塑性指数不小于12的低液限粘性土封闭圈。B类软质岩采用骨架植草防护时，路堤两侧部分所设置塑性指数不小于12的低液限粘性土封闭层水平宽度应加大，水平宽度不宜小于2.0m。

4.5.4 对于D类、E类软质岩路堤边坡宜采用植生袋或骨架植草进行防护。对于D类、E类软质岩填筑的路堤边坡，如采用骨架植草防护，路堤外侧宜设置水平宽度不小于0.5m（刷坡后）的塑性指数不小于12的低液限粘性土封闭层；骨架间间距不宜大于3m，骨架厚度不小于0.4m，嵌入坡体内深度不小于0.2m，骨架间回填种植土厚度不小于0.2m；骨架防护植物应选取适应性好、根系发达、耐干旱贫瘠、耐破坏、再生能力强的植物。植生袋内应填装适合植物生长的种植土，并掺和营养土以利植物生长。

##### 条文说明

软质岩路基宜采用生态防护措施，防护形式应根据软质岩的类型而不同。对于A类、B类、C类软质岩，由于其强度相对较高，可采用骨架植草进行防护；骨架植草防护措施参数根据路堤坡面高度、边坡倾角和暴雨强度等因素经计算后确定。对于D类、E类软质岩，由于崩解后填料较细，优先

采用植生袋防护；D类、E类软质岩也可采用骨架植草防护，当采用骨架植草防护时，本规程对骨架设计参数及种植土的厚度进行了进一步的规定，以便保障骨架植草对于该类软质岩路堤坡面的防护能力。

4.5.5 陡、斜坡路段应根据稳定性计算结果设置必要的支挡设施，如抗滑挡墙、桩板墙等。

4.5.6 软质岩路堤防护支挡结构应与桥台、隧道洞门、既有支挡结构物协调配合，衔接平顺。

#### **条文说明**

软质岩路基支挡防护结构要具有足够的强度和稳定性；支挡结构形式的选择应坚持安全可靠，经济合理，环境协调的原则，具体的防护参数应经稳定性计算后确定。

征求意见稿

## 5 软质岩路堤施工

### 5.1 一般规定

5.1.1 软质岩路堤施工,应根据设计、合同和现场情况等,编制实施性施工组织设计。

5.1.2 软质岩路堤施工前,应建立具备相应试验检测能力的工地试验室,建立健全安全、质量、环境、职业健康安全管理体系和质量检测体系,并对各类施工人员进行岗位培训和技术、安全交底。

5.1.3 软质岩填料预崩解和填筑工艺应符合表5.1.3的要求。

表5.1.3 软质岩填料预崩解和填筑工艺要求

| 软质岩填料类别 | 预崩解处治     | 填筑工艺  |
|---------|-----------|-------|
| A       | 不需进行预崩解处治 | 填石工艺  |
| B       | 预崩解处治     | 土石混工艺 |
| C       | 预崩解处治     | 土石混工艺 |
| D       | 预崩解处治     | 填土工艺  |
| E       | 预崩解处治     | 填土工艺  |

5.1.4 软质岩高填路堤与陡坡路堤应进行动态施工。

5.1.5 临时工程应满足正常施工需要,并与永久工程相结合,以减少路堤施工对原有道路、结构物的影响,保护农田水利设施等。

### 5.2 施工准备

5.2.1 软质岩路堤填筑施工前,应在全面理解设计要求和施工技术交底的基础上进行现场调查,核对施工范围内的地质、水文、气象、软质岩类别及分布情况,查清施工环境条件、填料来源和运输条件等。

5.2.2 软质岩路堤填筑施工前,工地中心试验室应对路堤填料进行复查和试验,确认软质岩填料分类、适用范围、施工所需的基本物理力学参数。

#### 条文说明

软质岩强度低,易风化、崩解,受干湿循环的作用变化较大,在外力作用下颗粒易破碎而引发变形,但经适当压实后稳定性可有一定提高,仍可用做路堤填料。因而,使用前应对路堤填料进行复查和试验,确认软质岩填料级别和适用范围。

5.2.3 软质岩路堤填筑施工前应进行试验路段铺筑。试验路段应选择地质条件、路堤断面型式等具有代表性的地段,长度宜不小于200m,应至少填筑3~4层。确定每层摊铺厚度、机械设备组合、碾压速度、压实遍数等施工工艺、工艺参数,以及试验、检测的方法与标准。并根据试验路段的压实工艺、工艺参数进行施工和质量控制。

5.2.4 填筑工艺试验段完成后,应及时编制总结报告,试验成果应包括下列主要内

容:

- 1 软质岩填料的试验检测与分级;
- 2 松铺厚度;
- 3 压实机械选择及组合;
- 4 碾压速度、碾压方式、碾压遍数、轮迹重叠量;
- 5 最佳含水率及碾压施工含水率控制范围;
- 6 压实工艺控制方法;
- 7 质量控制标准;
- 8 施工组织方案及工艺的优化;
- 9 原始记录、过程记录;
- 10 对施工图的修改建议等;
- 11 安全保证措施;
- 12 环保措施。

#### 条文说明

试验路段施工总结报告内容根据实际需要适当增减,但要全面、真实地反映试验情况,为后续施工提供依据。

**5.2.5** 路堤施工前应先做好截水沟、排水沟、渗沟等排水及防渗设施。雨季施工应加强路堤范围内的临时排水措施。

### 5.3 软质岩路堤施工

**5.3.1** 软质岩路堤填料填筑前应进行自然崩解和预崩解处理,并符合以下规定:

1. A类软质岩填料的母岩不崩解,可不进行自然崩解和预崩解处理。
2. B类、C类、D类、E类软质岩填料应进行自然崩解处理,可将软质岩填料裸露堆放,然后每2天洒水1次,进行自然预崩解破碎,一般周期1-3周。
3. B类、C类、D类、E类软质岩填料自然崩解过程基本完成后,再运至路堤上用“耙压”等人工手段进行预崩解处理。
4. 填料可在路堤上“耙压”预崩解,应用不小于300kW的推土机整平,由两侧开始向路中间进行整平,用推土机履带碾压,或用不小于20T的振动压路机、羊角振动碾进行碾压。再用推土机松土齿耙松,整平再碾压。
5. C类、D类、E类软质岩填料预崩解“耙压”4~6遍,未经料场崩解处理的软质岩相应的“耙压”遍数应增加一倍。填料预崩解“耙压”不符合设计要求的继续“耙压”,对其中个别没崩解的或靠压实设备无法压碎的坚硬岩块,予以剔除或人工破碎。
6. C类软质岩填料“耙压”预崩解处理完成后,应用推土机整平;D类、E类软质岩填料“耙压”预崩解处理完成后,用不小于PY160的平地机整平;整平后进入碾压工序。

**5.3.2** 软质岩路堤基底处理应符合以下规定:

1 路堤填筑前应清除基底表面的树根、杂草等，并进行压实，压实度二级及二级以上公路一般土质应不小于 90%；三、四级公路应不小于 85%。

2 基底自然横坡较陡(陡于 1:5)时，路堤基底应挖成台阶，每级台阶宽度不小于 2m。

3 基底存在软弱地基的，应进行地基处理。当软弱层厚度小于 3m 时，宜进行换填处理；超过 3m 时，宜用插板桩、砂桩等进行排水固结，或用刚性桩进行加固。

### 5.3.3 A 类软质岩路堤施工应符合以下规定：

1 填料填筑最大厚度应不大于 600mm，填料最大粒径应不大于 400mm，且小于分层填筑厚度的 2/3。

2 应用功率不小于 300kW 的推土机整平，应用自重不小于 20T 的振动压路机，碾压速度 3km-6km/h，轮压痕迹重叠 0.6~0.8m，振频 30Hz~35Hz，振幅不小于 1.5mm，碾压 6 遍。不合格处应进行补压再做检验，一直达到合格为止。

3 碾压 10 遍压实质量仍达不到要求时，应薄减 A 类软质岩填料分层填筑厚度。

### 5.3.4 B 类软质岩路堤施工应符合以下规定：

1. 填筑前应进行自然崩解，自然崩解应符合第 5.3.1 条的要求。

2. B 类软质岩填料填筑最大松铺厚度不应大于 400mm，最大粒径不应大于 250mm。

3. B 类软质岩填筑应用 300kw 推土机整平，自重 20T 振动压路机，碾压速度 3km-6km/h，轮压痕迹重叠 0.6~0.8m，振频 30Hz~35Hz，振幅不小于 1.5mm，碾压 6 遍。不合格处应进行补压再做检验，一直达到合格为止。

4. 碾压 10 遍压实质量仍达不到要求时，应薄减 B 类软质岩填料分层填筑厚度。

5. B 类软质岩填筑路堤时，应按设计要求做好质岩软填筑路堤防水防渗层，以保证软质岩路堤的长期稳定性。

6. B 类软质岩路堤底部设置排水垫层、边坡封闭和顶部设置防渗层等措施。

### 条文说明

B 类软质岩用常规设备很难破碎，但在公路运营中岩石会逐渐崩解，可导致路堤建成后发生长期持续的沉陷病害。因而，软质岩填筑时，应按设计要求采取边坡封闭和底部设置排水垫层、顶部设置防渗层等措施。

### 5.3.5 C 类、D 类、E 类软质岩路堤施工应符合以下规定：

1. 1.1 软质岩填筑路堤前，应进行自然崩解和预崩解，预崩解应符合第 5.3.1 条的要求。

2. D 类、E 类软质岩路堤填料不符合表 4.2.3 的规定时，D 类软质岩可采用砂、砾石、碎石等进行掺合处治，E 类软质岩可采用无机结合料进行稳定处治。

3. C 类、D 类、E 类软质岩填筑路堤时，应在路堤上进行“耙压”预崩解，C 类软质岩最大料粒径大于 400mm 的，D 类、E 类软质岩最大料粒径大于 300mm 的，应进行人工解小。

4. C 类软质岩填料最大松铺厚度不应大于 400mm，D 类、E 类软质岩填料最大松铺厚度

不应大于 300mm。

5. C类软质岩填料“耙压”预崩解处理完成后，应用推土机整平；“耙压”后的C类软质岩填料，应用推土机整平；“耙压”后的D类、E类软质岩填料，应用不小于PY160的平地机精平，平整度达到3m直尺10cm之内。整平后应用自重不小于20T的振动压路机、羊角振动碾，低频强振6遍，静压1~2遍。并在碾压前适当洒水，使石块之间有一层润滑，易于碾压时石块移动、嵌锁。不合格处应进行补压，一直达到合格为止。

6. C类、D类、E类软质岩路堤填料由于保水性差，碾压时应保证含水量控制在大于最佳含水量1~3个百分点，且开始碾压后中途不得停顿。若天气干燥，在碾压过程中，为防止表面失水碾压不实，洒水车应随时在碾压过程中对表面进行洒水，以保持表面湿润。

7. C类、D类、E类软质岩路堤应按设计要求设置排水垫层、边坡封闭和顶部防渗层等措施。排水垫层施工应符合5.3.5条的规定，边坡封闭应符合5.3.6条的规定，防渗层应符合5.3.7条的规定。

**5.3.6** 软质岩路堤路床填料最小强度应符合表4.2.3的规定，最大粒径不大于100mm。高速公路、一级公路的软质岩路堤的路床填料，宜采用砂砾、碎石等水稳性好的粗粒料填筑，也可采用级配好的碎石土、砾石土等填筑；粗粒料缺乏时，可采用无机结合料改良细粒土填筑。

**5.3.7** 路床顶面回弹模量应符合设计要求，设计未规定时应符合现行《公路水泥混凝土路面设计规范》（JTG D40）和《公路沥青路面设计规范》（JTG D50）的规定。当路床顶面回弹模量不满足要求时，应选用高强度的路床填料，或用物理或化学改良路床填料。

**5.3.8** 零填路段的路床施工应符合下列规定：

1 路床范围原状土符合路床填料要求的，可直接进行成型施工。不符合要求的，应按设计要求厚度换填，设计未规定时，应换填深度不小于路床厚度。

2 回填料应选用水稳性好的级配碎石、未筛分硬质岩石渣、砂砾粗粒料、级配好的碎石土和砾石土，或回填无机结合料改良细粒土。

3 换填层底应铺设防渗土工合成材料阻断自由水的下渗。并设排水边沟且在排水边沟底应设置渗沟。渗沟底应低于换填层底，且埋深在冰冻线以下。

#### **条文说明**

零填路段的路床不符合要求时，对路面性能影响大，因此条文建议换填处理。如换填弯沉值不满足要求，需增加换填厚度，或提高换填填料的强度。

**5.3.9** 软质岩高路堤与陡坡路堤施工应符合以下规定：

1. 高路堤段应优先安排施工，宜预留或6个月以上的沉降期。

2. 高路堤施工中应按设计要求预留沉降高度与宽度，并进行动态监控。

3. 高路堤宜每填筑2m，按设计要求用冲击能量不小于20kJ的冲击式压路机或激振力不小于50T的自行式重型振动压路机进行碾压补强，补强时应避免对附近构造物造成影响。

4. 高路堤填筑过程中应进行沉降和稳定性观测。
5. 高路堤与陡坡路堤填筑，应控制填筑速率，并进行地表水平位移监测，必要时应进行地下土体分层水平位移监测。
6. 路堤填挖交界处、陡坡路堤，应采取支挡及防排水、防冻等综合措施，保证路堤的稳定性，减少路堤的不均匀变形。

#### 5.3.10 改良软质岩填料路堤施工应符合以下要求：

- 1 可根据软质岩填料的塑性指数，采用掺入适量水泥或石灰进行改性，掺加水泥（石灰）的剂量应根据试验确定。
- 2 水泥应采用 42.5 及其以上等级的水泥。水泥应选用终凝时间较长（宜 6 h 以上）的水泥，不应使用快硬水泥、早强水泥。
- 3 石灰应选用生石灰，有效钙加氧化镁含量不小于 70%。
- 4 无机结合料改性软质填筑施工工艺流程：施工准备→下承层验收与检查→测量放样→打网格上料→翻拌晾晒→检测含水量→初步整平并碾压→打网格布水泥（石灰）→混合料拌和→含水量与水泥（石灰）剂量检测→平地机初步整平→二次打网格布水泥（石灰）→二次混合料拌和→二次平地机整平→二次含水量与水泥（石灰）剂量检测→压路机碾压成型→养护→检测→开放交通。
- 5 必须严格控制改性土成型前的含水量与灰剂量的均匀性。应严格控制分层填筑厚度。按照确定的松铺系数打网格进行层厚控制。应加强边部压实质量控制，及时进行边破刷坡处理，做好现场规范、文明施工，确保路堤范围内不积水。
- 6 碾压结束后要立即进行养生，先采用适当洒水养生，检测合格后立即进行上土覆盖。养生期间除洒水车等施工车辆外，禁止任何车辆通行。

### 5.4 雨期填筑施工

- 5.4.1 应及时收集气象信息，密切关注天气预报和降雨情况，避免灾害和事故发生。
- 5.4.2 遇雨或雨后，路堤表面未干时，不得开放交通，天气晴好继续填筑施工前，应将表层 10~20cm 范围内填料翻松后重新碾压，符合要求方可施工。
- 5.4.3 填方应随填随压实，当天填筑的土层应当天完成压实工作。路堤应分层填筑，层面上不得有积水，每一层的表面应做成 2%~4% 双向路拱横坡利于排水。并及时施做护坡、坡脚等防护工程，防止水流冲刷边坡。
- 5.4.4 雨期施工应做好临时排水，并与永久排水设施衔接顺畅，及时引排地面水。
- 5.4.5 雨期施工中的路堤或成型路段表面两侧边缘地带应保持一条宽不小于 40cm、高不小于 30cm 的拦水土埂，雨水沿土埂方向引至路堤两侧设置的临时排水槽处，顺排水槽流入路堤坡脚处临时排水沟排出路堤范围。临时排水槽在路堤两侧对称设置，30~50m 一道，临时排水槽可使用袋装土压埋塑料薄膜做成。
- 5.4.6 低洼地段，应在雨期前将原地面处理好，并将填筑作业面填筑到可能的最高

积水位0.5m以上。

5.4.7 中央分隔带需建立完善的防排水体系，防止地面水通过中央分隔带进入路堤。

5.4.8 路堤施工完成后，应及时将路堤边坡按设计修整，并立即施工具有防冲刷能力护坡，防止雨水直接侵蚀。

### 5.5 防排水工程施工

5.5.1 软质岩路堤应采用截水沟、边沟、急流槽、渗沟、排水垫层、排水沟等构造物，拦截有可能进入路界面的地表水，排除路堤施工期顶面水和路面水，引出路堤内自由水，隔离地下水。

5.5.2 截水沟、边沟、排水沟应线形应平顺、纵坡衔接平顺，并进行防渗及加固处理。

5.5.3 急流槽汇集路面水流的水簸箕底口不得高于接口的路肩表面，急流槽出水口的喇叭型水簸箕应与排水沟衔接平顺。跌水出水口应设消力池。

5.5.4 低洼路段排水沟应选择合适地点作为出水口，保证出水顺畅。

5.5.5 中央分隔带开挖倒梯形的底面和两侧边坡应满铺防渗土工布，防止雨水渗入路堤内部。排水渗沟应设置在通讯管道之下，排水渗沟沟底和沟侧应采用防渗土工布包裹封闭，渗透顶面和回填土之间应设置反滤层，横向排水管施工应采用反挖法，排水管直径应符合设计要求，设计未规定时，公称外径应不小于 315mm。

5.5.6 渗沟应设置排水层、反滤层和封闭层。渗沟沟壁反滤层应采用透水土工织物或中粗砂，渗水管可选用带孔的 HPPE 管、PVC 管、PE 管、软式透水管、无砂混凝土等。

5.5.7 降雨量较小地区中央分隔带较窄时，中央分隔带可采用表面铺面封闭分散排水。铺面层下应采取防水措施，铺面层的横坡应与两侧道路横坡一致。

5.5.8 软质软质岩路堤靠山一侧的边坡地下水发育并有渗流时，应根据渗流水的位置及流量大小采取设置纵向排水沟、泉水集水井、边坡渗沟等设施降低地下水位或将地下水排走，防止流入软质岩路堤。

5.5.9 低填路段防排水设施施工应选择合适地点作为出水口，保证出水顺畅。

5.5.10 软质岩路堤排水垫层应符合 5.3.5 条的规定。

5.5.11 季冻区软质岩路堤的暗埋管（沟）应设置在最大冰冻深线之下，暗埋管（沟）出水口应采取防冻措施。

### 5.6 防护与支挡工程施工

5.6.1 软质软质岩路堤的边坡宜采用码砌、骨架植草和坡脚挡土墙等形式进行防护。边坡坡率、台阶分级、台阶高度，应符合设计要求。

5.6.2 边坡码砌防护时，码砌厚度不应小于 1m。码砌石块应选择不易风化的较硬石块，粒径应大于 30cm，形状规则。码体咬扣紧密、错缝，严禁通缝、叠砌和浮塞。

5.6.3 包边土施工时，包边土塑性指数应用不小于 12 的低液限粘性土，不得使用高液限黏土。包边封闭层厚度不宜小于 2.0m。包边封闭层与路堤同步分层填筑、同步碾压。

5.6.4 植生袋防护时,植生袋应符合《植生毯与植生袋应用技术规程》(DB21 / T 2753)的要求。植生袋内应填装适合植物生长的种植土,并掺和营养土以利植物生长。

5.6.5 骨架施工前应修整坡面,填补超挖。骨架宜完全嵌入坡面内,保证骨架紧贴坡面,防止产生变形或破坏。铺设后应及时施做植物防护。

5.6.6 骨架防护植物应选取适应性好、根系发达、耐干旱贫瘠、耐破坏、再生能力强的植物。种植后应及时进行养护。

5.6.7 骨架植草防护铺草皮时,骨架间回填种植土厚度应不小于 0.2m。草皮应与坡面和骨架密贴。铺设草皮应及时进行养护。

5.6.8 坡脚挡墙宜采用浆砌块石(片石)或混凝土。应严格控制基底开挖高程,不得超挖填补。采用浆砌块石(片石)时应分层错缝砌筑,底面应卧浆铺砌,立缝要填浆补实,不得有空隙。按设计预留墙身泄水孔,砂浆应及时养护,强度达到设计强度的 75%后,分层回填夯实墙背填土。

征求意见稿

## 6 软质岩路堤检测与监测

### 6.1 一般规定

6.1.1 软质岩路堤检测与监测应符合本规程、设计文件和现行有关标准的规定和要求。

6.1.2 利用A类软质岩填料填筑的路堤，属于填石路堤，宜采用压实沉降差、孔隙率作为主要质量控制指标，采用弯沉、动态变形模量作为辅助质量控制指标。

6.1.3 软质岩填料路堤的填筑质量检测方法应符合表6.1.3的规定。

表6.1.3 软质岩路堤填筑质量检测方法

| 软质岩<br>填料等级 | 填筑质量检测方法 |      |      |       |         |     |
|-------------|----------|------|------|-------|---------|-----|
|             | 压实度法     | 沉降差法 | 孔隙率法 | 动态模量法 | 粒度分形维数法 | 弯沉法 |
| A           |          | √*   | √*   | √     |         | √   |
| B           | √*       | √*   | √*   |       | √       | √   |
| C           | √*       | √*   | √*   |       | √       | √   |
| D           | √*       |      |      | √     | √       | √   |
| E           | √*       |      |      | √     | √       | √   |

注：带‘\*’为该类软质岩路堤填筑质量的主要检测方法，未带‘\*’为辅助检测方法

#### 条文说明

A类软质岩遇水不崩解，基本保持岩石状态，宜采用压实沉降差、孔隙率作为主要质量控制指标。B类、C类软质岩具有一定崩解性，崩解后呈土石混合状态，宜采用压实沉降差、孔隙率、压实度作为主要质量控制指标，采用弯沉、粒组分维数、动态变形模量作为辅助质量控制指标。D类、E类软质岩具有较强崩解性，崩解后产物颗粒较小，呈土质，宜采用压实度作为主要质量控制指标，采用弯沉、粒组分维数、动态变形模量作为辅助质量控制指标。

6.1.4 各类软质岩路堤填筑完工后还应进行边坡质量和外观检查。

6.1.5 软质岩路堤应在填筑施工期开展变形监测，监测周期至少持续至公路建成营运后一年。

#### 条文说明

软质岩路堤沉降值相对普通填石路堤更大，尤其是当地基为陡坡或者软基时，沉降或者沉降差异更加明显，如不待沉降观测稳定后再进行路面铺筑，可能导致严重的路面开裂。

### 6.2 施工过程中的质量检测

6.2.1 软质岩路堤填筑施工应逐层进行质量检测，下层质量检测合格后，方可进行上层路堤

填筑。

6.2.2 A、B、C类软质岩路堤施工过程中，以压实沉降差作为指标进行质量检测时，首先应在压实后的路堤纵向布点，横向间距可视现场情况而定，避免在突出的大石上和压路机不能到的地方布点。用油漆对点位进行标记或者设置小型观测标志，并测量其高程，然后进行碾压，待碾压完成后，再次测量各测点高程，测点在碾压前后的高差就是压实沉降差。

#### 条文说明

一般情况下，可采用20t以上压路机振压，车速控制在2.0~4.0km/h，频率控制在30 Hz左右，以两遍沉降差不大于5mm作为质量控制指标，实际工程中有条件情况下可建立试验段，制定更符合软质岩填料特点的压实沉降差控制指标。

6.2.3 A、B、C类软质岩路堤施工过程中，以孔隙率作为指标进行质量检测时，应根据式6.2.3-1计算孔隙率 $n$ ：

$$n = 1 - \frac{\rho_d}{d_s \rho_w} \quad (6.2.3-1)$$

式中： $\rho_d$ —填料干密度； $d_s$ —比重； $\rho_w$ —水的密度。

软质岩路堤孔隙率控制标准应符合表6.2.3-1的要求。

表6.2.3-1 软质岩路堤孔隙率控制标准

| 路基部位 | 路面底面以下深度<br>(m)          | 最大粒径 (mm) | A类软质岩孔隙率 (%) | B、C类软质岩孔隙率 (%) |
|------|--------------------------|-----------|--------------|----------------|
| 上路堤  | 0.80~1.50<br>(1.20~1.90) | 小于层厚      | ≤22          | ≤20            |
| 下路堤  | >1.50<br>(>1.90)         | 小于层厚      | ≤24          | ≤22            |

注：括号中数值为特重、极重交通条件下的深度范围。

#### 条文说明

可在路基每一层的表面往下5cm位置采用大型灌砂筒测定填料密度，并取样测定其含水率，计算出干密度，再计算孔隙率。

6.2.4 B、C、D、E类软质岩路堤施工过程中，采用粒组分维数作为指标进行质量检测时，应参照本规程附录C进行。

6.2.5 D、E类软质岩路堤施工过程中，采用压实度作为指标进行质量检测时，方法应采用灌砂法或灌水法。灌砂法测试压实度应按《公路路基路面现场测试规程》（JTG E60）执行。灌水法实测定压实度应按《公路土工试验规程》（JTG E60）执行，适用于测定粗粒填料和

巨粒填料的压实度。压实度的评定方法应按《公路工程质量检测评定标准 第一册 土建工程》(JTG F80/1) 执行。

### 条文说明

1. 灌水法采用的塑料薄膜袋材料宜为聚氯乙烯, 质地柔软, 应具有良好的不透水性和一定的强度。

2. 灌砂法如遇到大石块, 则应放弃此试验点位, 重新选点试验。采用的标准砂粒径宜选用0.25mm~0.55 mm, 因为在此范围内, 标准砂的密度变化较小。

3. 路基压实度指标需分层检测, 强调确保分层压实质量。当样本数小于10时, 按数理统计的一定保证率时的系数可能偏大, 分层压实质量控制应要求全部符合要求, 而且实际样本数不小于6个。

6.2.6 各类软质岩路堤在施工过程中, 采用弯沉作为指标进行质量检测时, 应按《公路路基路面现场测试规程》(JTG E60) 执行, 满足式6.2.7-1的要求。

$$l_0 \leq l_g \quad (6.2.6-1)$$

式中:  $l_0$ ——路段内实测的路基顶面弯沉代表值(0.01mm)。

$l_g$ ——各层顶面设计验收弯沉值(0.01mm)。

6.2.7 各类软质岩路堤在施工过程中, 采用动态变形模量 $E_{vd}$ 作为指标进行质量检测时, 应符合以下要求:

- 1 测试面平整, 荷载板与地面有良好接触, 必要时可用少量的细中砂来补平;
- 2 荷载板放置在平整好的测试面上, 安装上导向杆并保存其垂直;
- 3 将落锤提升至挂(脱)钩上挂住, 然后使落锤脱钩并自由下落, 当落锤弹回后将其抓住并挂在挂(脱)钩装置上, 按此操作进行三次预冲击;
- 4 正式测试时按上述第3项的方式进行三次冲击测试, 作为正式测试记录, 测试时应避免荷载板的移动和跳跃;
- 5 应记录每个测点的工程名称、检测部位、试验时间、土的种类、含水率以及相关参数。
- 6 动态变形模量 $E_{vd}$ 控制标准如表6.2.7-1所示。

表 6.2.7-1 软质岩压实质量动态变形模量  $E_{vd}$  控制标准

| 路基部位 | 路面底面以下深度<br>(m)          | 摊铺层厚<br>(m) | 最大粒径<br>(mm) | 动态变形模量 $E_{vd}$<br>(MPa) |
|------|--------------------------|-------------|--------------|--------------------------|
| 上路堤  | 0.80~1.50<br>(1.20~1.90) | ≤300        | 小于层厚         | 40                       |
| 下路堤  | >1.50<br>(>1.90)         | ≤400        | 小于层厚         | 35                       |

注: 括号中数值为特重、极重交通条件下的深度范围。

6.2.8 在每一层软质岩的填筑过程中，应参照本规程6.1节选择检测指标，按下列范围、频次和取样要求，对软质岩路堤进行分段检测：

1 压实沉降差检测在200m长度范围内不少于6点。测点在填层中部2点、距填层边缘1m处各2点。在压实面积不足200m<sup>2</sup>时，至少检测4点。

2 孔隙率或压实度检测在200m长度范围内不少于4点，在填层中部2点、距填层两侧边缘0.5~1.0m各1点，按左、中、右大致呈梅花形分布。采用的灌砂法或灌水法属于破坏性检测，其测点距离其他测点间距不应小于2m。

3 粒组分维数检测，每200m长或每5000m<sup>2</sup>路堤，应不少于4点。

4 采用落锤式弯沉仪进行弯沉检测时，每公里测点数不少于40个，采用贝克曼梁进行弯沉检测时，每公里测点数不少于80个。

5 动态变形模量检测，每公里测点数不少于40个。

### 6.3 填筑完工后的检测

6.3.1 软质岩填筑路堤填筑至设计高程并整修完成后，外观检测应按《公路工程质量检验评定标准》（JTG F 80/1）执行，要求表面平整密实，对于A、B、C类软质岩路堤，无空隙、松石、坑洼及大的石块存在。

6.3.2 软质岩填筑路堤填筑至设计高程并整修完成后，压实沉降差、孔隙率、压实度、弯沉等检测方法可参照本规程 6.2 节，各类软质岩路堤填筑完工后的检测项目汇总如表 6.3.2-1~表 6.3.2-3 所示，其中 B、C、D、E 类软质岩路堤压实度还需满足表 6.3.2-4 的要求。若以动态变形模量作为辅助质量控制指标，还需要满足表 6.2.8-1 的要求。

表 6.3.2-1 A 类软质岩路堤检测项目

| 项次 | 检测项目       | 规定值或允许偏差  |          |          |
|----|------------|---|----------|----------|
|    |            | 高速公路、一级公路   | 二级公路     | 三、四级公路   |
| 1  | 外观         | 表面无明显孔洞、松动，大粒径石料不松动，表面平整密实，路基边线与边坡不出现单向累计长度超过 50m 的弯折，边坡坡面不得有危石 |          |          |
| 2  | 压实沉降差      | ≤试验路段确定的沉降差（2~5mm）  |          |          |
| 3  | 孔隙率        | 上路堤≤22%，下路堤≤24%   |          |          |
| 4  | 纵面高程(mm)   | +10, -20  | +10, -30 | +10, -30 |
| 5  | 弯沉（0.01mm） | 满足设计要求  |          |          |
| 6  | 中线偏位(mm)   | ≤50   | ≤100     | ≤100     |
| 7  | 宽度（mm）     | 满足设计要求  |          |          |

|    |         |      |        |      |
|----|---------|------|--------|------|
| 8  | 平整度(mm) | ≤20  | ≤30    | ≤30  |
| 9  | 横坡(%)   | ±0.3 | ±0.5   | ±0.5 |
| 10 | 边 坡     | 坡度   | 满足设计要求 |      |
|    |         | 平顺度  | 满足设计要求 |      |

表6.3.2-2 B、C类软质岩路堤检测项目

| 项次 | 检测项目       | 规定值或允许偏差  |          |          |
|----|------------|---|----------|----------|
|    |            | 高速公路<br>一级公路  | 二级公路     | 三、四级公路   |
| 1  | 外观         | 表面无明显孔洞、松动，大粒径石料不松动，表面平整密实，路基边线与边坡不出现单向累计长度超过 50m 的弯折，边坡坡面不得有危石 |          |          |
| 2  | 压实沉降差      | ≤试验路段确定的沉降差（2~5mm）  |          |          |
| 3  | 孔隙率        | 上路堤≤20%，下路堤≤22%   |          |          |
| 4  | 粒组分维数      | 参照附录 C  |          |          |
| 5  | 纵面高程(mm)   | +10, -20  | +10, -30 | +10, -30 |
| 6  | 弯沉（0.01mm） | 满足设计要求  |          |          |
| 7  | 中线偏位(mm)   | ≤50   | ≤100     | ≤100     |
| 8  | 宽度（mm）     | 满足设计要求  |          |          |
| 9  | 平整度(mm)    | ≤20   | ≤30      | ≤30      |
| 10 | 横坡(%)      | ±0.3  | ±0.5     | ±0.5     |
| 11 | 边 坡        | 坡度  | 满足设计要求   |          |
|    |            | 平顺度   | 满足设计要求   |          |

表 6.3.2-3 D、E类软质岩路堤检测项目

| 序号 | 检查项目               | 规定值或允许偏差  |          |          |
|----|--------------------|---|----------|----------|
|    |                    | 高速公路、一级公<br>路   | 二级公路     | 三、四级公路   |
| 1  | 外观                 | 表面无明显孔洞、松动，表面平整密实，路基边线与边坡不出现单向累计长度超过 50m 的弯折，路基边坡、护坡道等不得有滑坡、塌方或较深冲沟 |          |          |
| 2  | 粒组分维数              | 参照附录 C  |          |          |
| 3  | 弯沉<br>(0.01mm<br>) | 满足设计要求  |          |          |
| 4  | 纵断高程<br>(mm)       | +10, -15  | +10, -20 | +10, -20 |
| 5  | 中线偏位<br>(mm)       | 50  | 100      | 100      |

|   |          |        |      |      |
|---|----------|--------|------|------|
| 6 | 宽度 (mm)  | 满足设计要求 |      |      |
| 7 | 平整度 (mm) | ≤15    | ≤20  | ≤20  |
| 8 | 横坡 (%)   | ±0.3   | ±0.5 | ±0.5 |
| 9 | 边坡坡度     | 满足设计要求 |      |      |

表6.3.2-4 软质岩路堤压实度标准

| 路基部位 | 路面底面以下深度(m) |         | 压实度 (%)   |      |        |
|------|-------------|---------|-----------|------|--------|
|      |             |         | 高速公路、一级公路 | 二级公路 | 三、四级公路 |
| 上路堤  | 轻、中及重交通     | 0.8~1.5 | ≥94       | ≥94  | ≥93    |
|      | 特重、极重交通     | 1.2~1.9 |           |      | —      |
| 下路堤  | 轻、中及重交通     | >1.5    | ≥93       | ≥92  | ≥90    |
|      | 特重、极重交通     | >1.9    |           |      |        |

注：1. 表列压实度以现行《公路土工试验规程》（JTG E40）重型击实试验法为准。

2. 三、四级公路铺筑水泥混凝土路面或沥青混凝土路面时，其压实度应采用二级公路的规定值。三、四级公路属于重载交通的应采用二级公路以上相同的压实度。

#### 6.4 软质岩路堤监测

6.4.1 一个监测单元（连续路基沉降监测区段为一单元）应不少于2个监测断面，同一路段不同监测项目的测点宜布置在同一横断面上。

##### 条文说明

进行软质岩路堤监测的目的主要有：

1. 控制填土速率，为路堤稳定性分析提供依据；
2. 掌握软质岩路堤的形变规律及发展趋势，推断残余下沉量确定填方预留沉降量、余宽等；
3. 有效监控路堤的安全状况，及时发现异常情况和隐患，并预测预报路堤稳定状况。

6.4.2 应尽量在地基条件差、地形变化大、实际问题多的部位附近设置监测断面。一般情况下，监测断面间距不宜大于100m，对于如下高度的软质岩路堤，沉降监测断面的间距不宜大于50m：D、E类软质岩填筑路堤边坡高度大于8m，C类软质岩填筑路堤边坡高度大于12m，B级软质岩填筑路堤边坡高度大于16m，A级软质岩填筑路堤边坡高度大于20m，以及软质岩陡坡路段。

条文说明：不同工程地质段、不同地基处理段、高路堤段必须设置监测断面。

6.4.3 监测断面的监测内容及测点设置应根据沉降控制要求、地形地质条件、路堤高度等具体情况并结合施工工期确定，一般情况下应满足以下要求：

1 一般路堤应监测路堤分层垂直沉降、总垂直沉降、地表沉降、坡脚水平位移，垂直沉降可采用沉降板，地表沉降可采用全断面沉降管，坡脚水平位移可利用边桩进行监测。

2 填挖交界处应监测路堤分层垂直沉降、总垂直沉降、坡脚处和坡顶处的水平位移，必要时可埋设测斜管监测填挖交界面的滑移变形。

3 软基路段应监测路堤分层垂直沉降、总垂直沉降、地表沉降、坡脚水平位移、地基深层水平位移，地基深层水平位移可采用测斜管进行监测。

4 监测精度均应达到mm级。

条文说明：

地基深部位移的监测，可采用深埋测斜管的方式，通过测斜仪进入测斜管测定沿深度方向各点的水平位移值。测斜管的埋设要求很高，既要埋深至无水平位移的深层硬土中，又要严格控制测斜管在土中的垂直度，而且监测工作量也较大，故一般不作为常规施工生产路段的监测项目。但在软基路段，为防止施工中整体失稳或有效地控制路堤填筑速率，应开展这一监测项目。

6.4.4 为有效掌握各层软质岩的变形特征，应监测路堤的分层沉降量。分层沉降监测方案宜根据软质岩填料类别确定，一般情况下，A类软质岩路堤每填筑1~1.2m设置一个沉降监测点，B、C类软质岩路堤每填筑0.7~0.9m设置一个沉降监测点，D、E类软质岩路堤每填筑0.4~0.6m设置一个沉降监测点。当软质岩路堤填筑需进行碾压补强时，分层沉降监测点设置间距应与路堤的碾压补强厚度结合考虑，以免碾压补强时损坏监测点。

6.4.5 监测频次应满足以下要求：

1 路堤施工填筑期荷载逐渐增大，沉降速率较快，正常情况下对于A、B、C类软质岩路堤应每3天进行一次监测，对于D、E类软质岩应每2天进行一次监测，同时各类软质岩路堤每填筑1层应当进行一次监测。

2 当沉降速率大于1.0cm/日或坡脚水平位移速率大于0.5cm/日时，监测频率应增加至每天1次，并应及时会同相关单位查明原因，必要时停止填筑并采取沉降控制措施，待监测值恢复到控制值以下再进行填筑。

3 路堤填筑完成后若进行预压，预压初期对于A、B、C类软质岩路堤宜每7天进行一次监测，对于D、E类软质岩路堤宜每5天进行一次监测；各类软质岩路堤连续2个月实测沉降速率小于5mm/月时，可视为沉降基本稳定，随后可调整为每半月进行一次监测。

4 连续降雨后，应及时跟踪监测。

6.4.6 在条件较为复杂的路段，为使监测和分析评判更加全面，除考虑位移监测外，还

可增加土压力、孔隙水压力、温湿度、降雨量等监测内容。

6.4.7 沉降板监测标、工作基点桩、边桩等在监测期必须采取有效措施加以保护，还应在标杆上设置醒目的警示标志。

6.4.8 沉降监测资料应及时整理、汇总，应定期提供如下资料：

- 1 所有测点的累积沉降，日、月沉降速率；
- 2 所有测点的累积水平位移，日、月变化速率；
- 3 绘制“荷载-时间-沉降”和“荷载-时间-地表水平位移”关系曲线，列出填筑、预压及工后各个施工特征时期的沉降增量；
- 4 水平位移分布图；
- 5 深部位移数据变化曲线；
- 6 路基断面沉降盆图。

征求意见稿

## 附录 A. 软质岩填料干湿循环强度试验

### A.1 试验目的

测定软质岩路堤填料试样经历干湿循环作用下的强度（CBR 或回弹模量），以反映软质岩填料在干湿循环作用影响下的长期承载能力。

### A.2 试验仪器

同《公路土工试验规程》中的 CBR 试验或回弹模量试验仪器设备。

### A.3 试验步骤

#### A.3.1 备料

采取试料约 180kg，筛除试料中粒径大于 40mm 的颗粒，将已过筛的试料依次用四分法分成 9 份。

#### A.3.2 试样制备

取出 6 份试料做击实试验，获得击实曲线，求取最大干密度和最优含水率以及 96% 压实度所对应的干密度。

#### A.3.3 干湿循环模拟

将 B.3.1 中剩余的 3 份试料按照的 96% 压实度进行制样，进行 5 次干湿循环操作。

(1) 将试件制备完成后让试件底部浸水，使试件在毛细作用下饱和，然后逐步升高水位直至试件全部浸入水面以下为止，让试件在水下浸泡 4 天后，完成浸水饱和过程（0 次干湿循环）。

(2) 干湿循环步骤：浸水饱和后将试件从水中取出，放入电烘箱中烘干，完成失水过程，烘干时长定为 12h，然后再将试件在水下浸泡 4 天后，完成浸水饱和过程（此为干湿循环 1 次）；再重复试件干湿循环步骤 4 次（此为干湿循环共计 5 次）。

#### A.3.4 干湿循环强度测试

当测试试样干湿循环条件下的 CBR 强度时，将完成 A.3.3 步骤的试件按照《公路土工试验规程》的规定分别进行 CBR 试验；当测试试样干湿循环条件下的回弹模量时，将完成 A.3.3 步骤的试件按照《公路土工试验规程》的规定分别进行回弹模量试验。

### A.4 结果整理

干湿循环测试后，试样的回弹模量计算方法应按照《公路土工试验规程》的规定执行。

## 附录 B. 软质岩填料冻融循环强度试验

### B.1 试验目的

测定软质岩路堤填料试样经历冻融循环作用下的强度（CBR 或回弹模量），以反映软质岩填料在冻融循环作用影响下的长期承载能力。

### B.2 试验仪器

CBR 试验或回弹模量试验仪器设备同《公路土工试验规程》中的 CBR 试验或回弹模量试验仪器设备。反复冻融试验装置，由可控制温度的恒温箱、温度控制系统、水分补给系统组成。

### B.3 试验步骤

#### B.3.1 备料

采取试料约 180kg，筛除试料中粒径大于 40mm 的颗粒，将已过筛的试料依次用四分法分成 9 份。

#### B.3.2 试样制备

取出 6 份试料做击实试验，获得击实曲线，求取最大干密度和最优含水率以及 96% 压实度所对应的干密度。

#### B.3.3 冻融循环模拟

将 B.3.1 中剩余的 3 份试料按照的 96% 压实度进行制样，进行 5 次冻融循环操作。

##### (1) 管路连接

用硅胶管将顶板、底板热交换器与冷却液管路连接。

##### (2) 设定水分补给模式

先打开水分补给开关并排除底板内空气。当路基土存在外部水分补给时，试验状态为开放系统，水分补给开关设定为开启；当路基土无外部水分补给时，试验状态为封闭系统，水分补给开关设定为关闭。

##### (3) 冻结过程

分别设置恒温箱温度为+2℃，顶板温度为冻结温度（根据项目所在的冻结指数选定），底板温度为+2℃，同时启动箱体和上下热交换器温度控制开关。顶板热交换器按照温度变换速率为 20℃/h，降温至目标冻结温度，冻结时间不宜少于 48h；底板及恒温箱采用恒定温度控制。

##### (4) 融化过程

分别设置恒温箱温度为+2℃，顶板温度为+15℃，底板温度为+2℃，同时调整箱体和上

下热交换器温度控制开关。顶板热交换器按照温度变换速率为 20℃/h, 升温至目标融化温度, 融化时间不宜少于 12h; 底板及恒温箱采用恒定温度控制。

(5) 多次冻融循环

重复本试验 (3) ~ (4) 的步骤, 直至冻融循环 5 次。

(6) 冻融循环试验结束后, 关闭全部温控开关。将完成冻融循环后的试样, 从冻融循环试验装置中小心取出。清除表面积水, 并静置 10 分钟, 以备后续试验使用。

**B. 3. 4 冻融循环强度测试**

当测试试样冻融循环条件下的 CBR 强度时, 将准备好的试件按照《公路土工试验规程》的规定分别进行 CBR 试验; 当测试试样冻融循环条件下的回弹模量时, 将准备好的试件按照《公路土工试验规程》的规定分别进行回弹模量试验。

**B. 4 结果整理**

冻融循环测试后, 试样的回弹模量计算方法应按照《公路土工试验规程》的规定执行。

征求意见稿

## 附录 C. 软质岩填料路基压实粒组分形维数控制标准

C.1 按现行《公路土工试验规程》JTG E40 规定的相关颗粒分析方法，通过试验得到软质岩填料的级配。

条文说明

对于最大粒径小于 60mm 的填料，可以采用《公路土工试验规程》JTG E40 T0115-1993 的筛分法进行筛分。当填料最大粒径超过 60mm 时候，可以增加大孔径筛子方法进行，也可以挑出粒径超过 60mm 的颗粒，采用测周长计算确定颗粒尺寸，称量质量后确定超过 60mm 的颗粒的含量。超过 60mm 颗粒数据与小于 60mm 颗粒筛分数据叠加，可得到填料的级配。

C.2 令  $x_i = \log\left(\frac{R_i}{R_T}\right)$ ,  $y_i = \log\left[\frac{P(r \leq R_i)}{100}\right]$  按 (C.1.1) 可计算得到软质岩填料的分形维

D。

$$D = 3 - \frac{\sum x_i y_i}{\sum (x_i)^2} \quad (C.1.1)$$

其中： $R_i$  为筛孔尺寸； $P(r \leq R_i)$  为填料中小于  $R_i$  孔径颗粒的质量百分比； $R_T$  为填料的\*\*最大粒径\*\*。

条文说明

散体材料的颗粒分布分形维一般是通过回归分析计算得到，本规范经过研究，给出了散体材料分形维数的简化计算方法，示例如下。

例：假定对某粗粒土填料取样筛分，得到颗粒分布数据如下：

|                  |      |      |      |      |       |
|------------------|------|------|------|------|-------|
| 孔径 (mm)          | 200  | 60   | 40   | 20   | 5     |
| 小于该孔径填料质量百分比 (%) | 100  | 80   | 55.3 | 32.2 | 22.7  |
| 孔径 (mm)          | 2    | 1    | 0.5  | 0.25 | 0.075 |
| 小于该孔径填料质量百分比 (%) | 15.3 | 10.4 | 7.2  | 3.5  | 1.5   |

由颗粒级配数据可知，该填料最大粒径  $R_T=200\text{mm}$ 。然后按下表所示步骤进行填料的分形维数计算：

| $R_i$<br>(mm) | $x_i = \log\left(\frac{R_i}{R_T}\right)$ | $P(r < R_i)$<br>(%) | $y_i = \log\left[\frac{P(r \leq R_i)}{100}\right]$ | $x_i y_i$ | $x_i x_i$ |
|---------------|--|---------------------|--|-----------|-----------|
| 200           | 0  | 100                 | 0  | 0         | 0         |
| 60            | -0.5229                                  | 80.0                | -0.0969  | 0.051     | 0.273     |

|       |         |      |         |        |        |
|-------|---------|------|---------|--------|--------|
| 40    | -0.6990 | 55.3 | -0.2573 | 0.180  | 0.489  |
| 20    | -1.0000 | 32.2 | -0.4921 | 0.492  | 1.000  |
| 5     | -1.6021 | 22.7 | -0.6440 | 1.032  | 2.567  |
| 2     | -2.0000 | 15.3 | -0.8153 | 1.631  | 4.000  |
| 1     | -2.3010 | 10.4 | -0.9830 | 2.262  | 5.295  |
| 0.5   | -2.6021 | 7.2  | -1.1427 | 2.973  | 6.771  |
| 0.25  | -2.9031 | 3.5  | -1.4559 | 4.227  | 8.428  |
| 0.075 | -3.4260 | 1.5  | -1.8239 | 6.249  | 11.737 |
| 合计    | —       | —    | —       | 19.095 | 40.559 |

根据 (C.1.1) 计算:

$$D = 3 - \frac{\sum x_i y_i}{\sum (x_i)^2} = 3 - \frac{19.095}{40.559} = 2.53$$

C.3 除 A 类填料外, 软质岩填料均应采用崩解或破碎的方式破碎到一定的颗粒级配后再进行压实, 建议正式压实前, 软质岩填料粒组分形维  $D$  不小于 2.2 后再进行压实, 压实后的软质岩填料分形维  $D$  不小于 2.4。

#### 条文说明

颗粒成分和颗粒级配是散体材料的两大基本特征, 分别代表了填料的材料特性和结构特性。对于具有崩解性的软质岩填料, 就其材料特性而言, 已经属于不适宜填料, 因此要用良好的结构弥补材料的不足, 才能得到合乎要求的路堤。

具有良好颗粒级配的填料不仅有利于压实, 也有利于形成水理性质稳定的结构。但是什么样的级配是良好的级配? 这是一个长期困扰工程人员的问题。分形理论是研究高度非线性、复杂性现象的有力手段。在散体材料领域, 它用分形维来评价材料的颗粒结构特征。既有研究表明, 分形维数较大的散体材料, 不仅容易被压实, 而且压实后填料在力学和水理特性上也更为稳定。实践和理论分析都表明, 充分破碎压实后的填料, 其分形维数接近 2.6。因此本条规定, 除了 A 类填料, 用分形维数值  $D=2.4$  (约 2.6 的 92%) 作为压实质量的最低控制标准, 同时建议最好将软质岩填料破碎至分形维数  $D$  不小于 2.2 (约 2.6 的 85%) 再进行压实。软质岩填料的破碎可采用预崩解、液压破碎锤将大颗粒逐个破碎、推土机-羊足碾反复耙压等方式进行。如果工程中发现尽管经过充分压实, 填料的粒度分形维仍小于 2.4 的情况, 则应进行额外分析, 以确定合适的分形维控制标准。一般来说, 如果采用的设备不足以破碎岩块, 则碾压过程中分形维就达不到 2.4。例如在参编单位发现海口市广泛分布的气孔构造玄武岩, 无侧限抗压强度在 24~29MPa (强度低于 30MPa, 属于软质岩), 采用振动压路机+冲击式压路机进行碾压, 碾压前后的分形维数都是 2.2 左右, 碾压过程对分形维数

没有影响。

A类填料因其不崩解，可以按填石路堤对待，不受本条限制。前述的气孔构造玄武岩就属于不会崩解的软质岩，因此也不需要采用分形维数控制。

征求意见稿