

胡义生, 钟金良. 浅谈道路工程勘察设计中路基湿度状况的判别[J]. 灾害学, 2018, 33(S1): 148-151. [HU Yisheng and ZHONG Jinliang. Discrimination of Road Base Humidity in Road Engineering Survey and Design[J]. Journal of Catastrophology, 2018, 33(S1): 148-151. doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.Z1.028.]

# 浅谈道路工程勘察设计中路基湿度状况的判别<sup>\*</sup>

胡义生, 钟金良

(苏交科集团股份有限公司, 江苏 南京 210019)

**摘 要:** 对我国现行《城市道路路基设计规范》和《公路路基设计规范》中关于路基湿度状况的判别方法进行初步探讨, 分析两者之间的联系与区别。公路路基平衡湿度状况与城市道路路基干湿类型在路基湿度状态分类上相似, 但其判定标准并不相同, 且分类的目的有别, 实际应用时应注意避免混淆。

**关键词:** 公路; 城市道路; 路基; 湿度

**中图分类号:** X43; U412; P642 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-811X(2018)S1-0148-04

doi: 10.3969/j.issn.1000-811X.2018.Z1.028

路基是按照路线位置和一定技术要求修筑的带状构造物, 是路面的基础, 承受由路面传来的行车荷载<sup>[1]</sup>。路基的湿度状况与路基的强度、稳定性密切相关, 是影响路基土回弹模量的最重要的环境因素<sup>[2]</sup>, 对设计确定路面结构及厚度有较大影响<sup>[3]</sup>, 它受大气降水、蒸发、地下水、温度、路面结构及其透水程度等多种因素的制约。我国现行《城市道路路基设计规范》<sup>[4]</sup>将路基在最不利季节所处的干湿状态分为过湿、潮湿、中湿、干燥四类, 采用稠度来表征路基的湿度; 而《公路路基设计规范》<sup>[1]</sup>认为在路面完工后的2~3年内路基的湿度与周围环境趋于平衡, 并将这种平衡湿度状况分为潮湿、中湿、干燥三类, 采用饱和度来表征路基土湿度状态。两者在判别路基湿度状况方面存在一定的联系, 但在思路、方法等方面均有所不同, 在实际勘察设计工作中应加以鉴别。

## 1 影响路基湿度状况的因素

影响路基湿度状况的因素很多, 但从概念上分析, 可将众多的影响因素归结为路基土本身和水两类。

### 1.1 路基中的水源

路基水的主要来源有: (1) 大气降水—通过路面、路肩、边坡和边沟渗入路基; (2) 地面水—边沟及排水不良时的地面积水, 浸入路基或以毛细水的形式渗入路基; (3) 地下水—路基下部浅层的地下水浸入路基或在毛细作用下上升到路基内部; (4) 水汽凝结水—在土的孔隙中流动的水蒸气遇冷凝结为水; (5) 薄膜移动的水—以薄膜水的形式, 从含水量较高处移向含水量较低处, 或从温度较

高处移向温度较低处的水<sup>[3]</sup>。

路基土中的水不论呈液态或汽态移动, 均是由高压处向低压处, 由高温处向低温处、由高含水量处向低含水量处移动<sup>[5]</sup>; 上述各种影响路基湿度变化的水源, 其相对值随自然地理分区、当地自然条件与特点, 以及工程技术措施等而不同。

### 1.2 路基土质类型

不同类型的土工程性质千差万别, 在水的作用下, 其强度和稳定性变化也各不相同。土的粒度组成、矿物成分、土体结构、密实程度等都对路基湿度有着直接或间接的影响。常用的路基填料中, 对于毛细水上升高度很小的巨粒土、粗粒土, 强度和水稳性较好, 持水性差, 路基的干湿程度对路基的强度和稳定性影响较小, 砂质土、黏质土和粉质土毛细现象显著, 浸水强度降低明显, 工程性质受路基的干湿程度影响较大, 是路基湿度状况判别主要针对的土质类型。

## 2 路基湿度状况的判别

### 2.1 城市道路路基干湿类型<sup>[4]</sup>

城市道路路基干湿类型可采用分界稠度划分, 也可根据路基相对高度确定, 其判定标准见表1所列。

#### 2.1.1 分界稠度法

采用分界稠度法判别路基干湿类型时, 需在现状路床顶面(路面结构层底)以下80 cm深度范围内采取试样进行天然含水量、液塑限和颗粒分析试验, 以划分土质类别、计算平均稠度, 并根据土质类别查表2取路基的分界稠度 $\omega_{cl}$ 、 $\omega_{c2}$ 、 $\omega_{c3}$ , 进而根据表1判别路基干湿类型。路基稠度可由下式计算:

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2018-04-06

修回日期: 2018-07-13

第一作者简介: 胡义生(1983-), 男, 安徽桐城人, 硕士研究生, 工程师, 主要从事工程地质与岩土工程等方面的研究。

E-mail: hysol23@163.com

表 1 路基干湿状态的判定标准

路基干湿类型	平均稠度 $\omega_c$	路基相对高度 $H$	一般特征
干燥	$\omega_c \geq \omega_{c1}$	$H \geq H_1$	路基干燥、稳定, 路面强度和稳定性不受地下水和地表积水的 影响
中湿	$\omega_{c1} > \omega_c \geq \omega_{c2}$	$H_1 > H \geq H_2$	路基上部土层处于地下水或地表积水影响的过渡带区内
潮湿	$\omega_{c2} > \omega_c \geq \omega_{c3}$	$H_2 > H \geq H_3$	路基上部土层处于地下水或地表积水毛细影响区内
过湿	$\omega_c < \omega_{c3}$	$H < H_3$	路基上部土层处于地下水或地表积水毛细影响区内

注: ① $\omega_{c1}$ 、 $\omega_{c2}$ 、 $\omega_{c3}$ 分别为干燥和中湿、中湿和潮湿、潮湿和过湿状态路基的分界稠度,  $\omega_c$ 为路床顶面以下 80cm 深度内的平均稠度。② $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ 分别为最不利季节干燥与中湿、中湿与潮湿、潮湿与过湿分界状态对应的临界高度,  $H$ 为路床表面距地下或地表积水水位的高度。

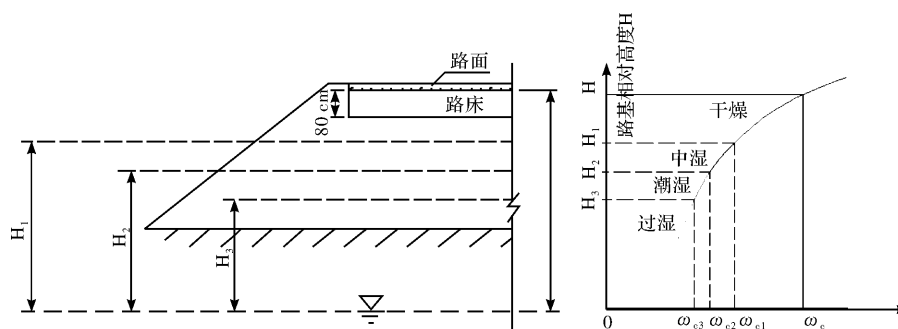


图 1 路基干湿类型判别示意图

$$\omega_c = \frac{w_L - w}{w_L - w_p} \quad (1)$$

式中:  $\omega_c$  为路床顶面以下 80 cm 深度内的平均稠度;  $w_L$  为土的液限(100 g 平衡锥入土 20 mm);  $w_p$  为土的塑限;  $w$  为土的含水率。

路基干湿状态的分界稠度值见表 2。

表 2 路基干湿状态的分界稠度值

土质类别	$\omega_{c1}$	$\omega_{c2}$	$\omega_{c3}$
土质砂	1.20	1.00	0.85
黏质土	1.10	0.95	0.80
粉质土	1.05	0.90	0.75

### 2.1.2 路基相对高度法

路基的干湿状态可在已知土质类别、排水条件、自然区划的基础上查规范<sup>[4]</sup>附录 A 表获得临界高度  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$ , 再通过比较路基相对高度  $H$  与临界高度的大小关系确定路基干湿类型, 见表 1。

### 2.2 公路路基平衡湿度状况<sup>[1]</sup>

公路路基的平衡湿度状况采用饱和度来表征, 而饱和度可通过室内试验等方式确定, 也可基于非饱和土的土水特征曲线(饱和度—基质吸力关系曲线)预估。

#### 2.2.1 室内试验法

土的质量含水率、干密度及相对密度均可通过室内土工试验直接获得, 根据土的三相组成关系, 饱和度可按式确定:

$$S_r = \frac{w}{\frac{\rho_w}{\rho_s} - \frac{1}{G_s}} \quad (2)$$

式中:  $S_r$  为饱和度(%);  $w$  为质量含水率(%);  $\rho_w$  为水的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ );  $\rho_s$  为土的干密度( $\text{kg}/$

$\text{m}^3$ );  $G_s$  为土的相对密度。

#### 2.2.2 土水特征曲线法

土水特征曲线(SWCC)是用于描述饱和度(或含水量)与基质吸力之间本构关系的函数曲线, 常绘制在半对数坐标系下。模拟土水特征曲线的数学模型有 Books—Corey 模型(1964 年)、Van Genuchten 模型(1980 年)、McKee & Bumb 模型(1987 年)、Fredlund & Xing 模型(1994 年)等<sup>[2,6]</sup>。对于特定类型的土, 在选取某种模型描述土水特征曲线后, 通过试验可获得该模型对应的参数, 从而确定曲线形态。

由图 2 可知, 若能获得路基中某一位置的基质吸力, 即可根据土水特征曲线来获得该位置土体的饱和度。

对于路基基质吸力, 可针对不同类型的路基湿度状态采用对应的模型来预估<sup>[1]</sup>, 见表 3。

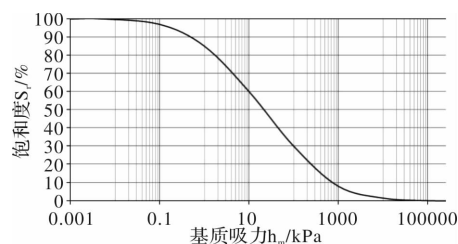


图 2 土水特征曲线示意图

为确定路基湿度状态, 首先需确定路基土毛细润湿区范围。土的毛细性受土的粒度成分、矿物成分、土中水溶液的化学成分和浓度、温度以及土体结构等多种因素的影响<sup>[18]</sup>。实际应用中, 可采用模拟试验法、类比法等预估路基土毛细水最大上升高度, 也可用海森公式进行估算:

表3 路基湿度状态分类及基质吸力预估模型选用

路基湿度状态	控制因素	一般特征	基质吸力预估模型
干燥	气候	地下水位很低,路基工作区处于地下水毛细润湿区之上	TMI 模型
中湿	兼受地下水和气候因素影响	地下水位较高,路基工作区下部处于地下水毛细润湿区影响范围内,而其上部则受气候因素影响	毛细润湿区以上采用 TMI 模型、毛细润湿区下采用地下水位模型
潮湿	地下水或地表长期积水	地下水或地表长期积水的水位高,路基工作区均处于地下水毛细润湿区影响范围内	地下水位模型

$$h_0 = \frac{C}{ed_{10}} \quad (3)$$

式中:  $h_0$  为毛细水最大上升高度(m);  $e$  为土的孔隙比;  $d_{10}$  为土的有效粒径(m);  $C$  与土粒形状及洁净度有关系,一般取值为  $1 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-5} (\text{m}^2)$ 。

根据以往室内试验及现场测试成果<sup>[6]</sup>, 常见土组的毛细水最大上升高度可按下列数值考虑: 黏质土 6 m、粉土 3 m、砂土 0.9 m。

通过路基土毛细水最大上升高度及地下水位可大致确定地下水毛细润湿区范围, 对比其与路基工作区的相对位置关系即可将路基湿度状态划分为干燥、中湿或潮湿类型, 并据此可选择相应的基质吸力预估模型。

基质吸力预估模型可由下式表达:

$$h_m = \begin{cases} f(y) \text{ 地下水位模型;} \\ f(\text{TMI}, \alpha) \text{ TMI 模型。} \end{cases} \quad (4)$$

式中:  $h_m$  为基质吸力(kPa);  $y$  为计算点距地下水位距离(m);  $\alpha$  为与土质性质有关的系数; TMI 为湿度指数, 可通过查询当地气象资料获得。

综上所述, 采用土水特征曲线预估路基某计算点饱和度的步骤如下: ①根据路基土质类型, 预估毛细水上升高度; ②判别路基湿度状态; ③选用合适的模型计算基质吸力; ④确定土水特征曲线模型及相关参数; ⑤将计算出的基质吸力代入土水特征曲线模型获得饱和度。

考虑到基质吸力模型及土水特征曲线模型理论相对复杂, 《公路路基设计规范》<sup>[1]</sup> 将上述步骤的(3)~(5)步进行了归并处理, 给出了附录 C 的查表法。

## 2.3 两种路基湿度状况判别方法相关问题的讨论

### 2.3.1 判别时机

城市道路路基干湿状态判别的时机是最不利季节, 然而, 当前对最不利季节的界定还比较模糊, 尚不明确考虑的是工程所在地不同年份、不同季节变化, 还是某一年中最不利季节的温度、湿度状态的影响<sup>[7]</sup>。通常最不利季节可理解为一个地区一年中路基湿度最大的时期, 此时路基稠度最小, 而路基的湿度受降雨、地下水位、温度、土层结构等因素的影响处于动态变化之中。在实际勘察工作中, 由于工期紧张, 勘察实施时间往往并非最不利季节, 此时实测的含水量及水位一般较最不利季节偏低。

公路路基湿度状况判别基于路面完工后 2~3 年内路基湿度与周围环境趋于平衡的认识, 如面层较好地保护了路基, 除了靠近路基边缘之外, 路基湿度变化非常小, 以至于可以忽略不计。基于路基平衡湿度的概念判别路基湿度比较符合路

基运营期实际情况(图 3)。

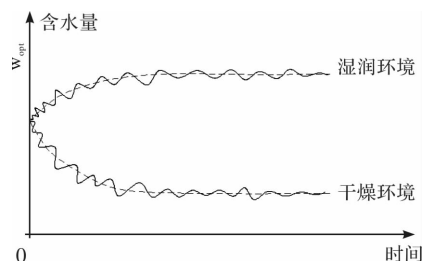


图3 路基平衡湿度示意图

### 2.3.2 判别深度

城市道路路基干湿状态判别的对象为路床顶面以下 80 cm, 范围较为明确。公路路基湿度状况判别对象也为路床, 但路床的厚度较城市道路有所增加, 轻~重交通公路为 80 cm, 特重、极重交通公路为 120 cm, 对特种轴载的公路, 应根据路基工作区深度确定路床厚度。

### 2.3.3 湿度状态划分标准

不管是城市道路的路基相对高度法, 还是公路的土水特征曲线法, 它们判别路基湿度状态都是基于路床或路基工作区与毛细润湿区的位置关系为依据(图 4), 判别标准见表 4。

假设两种方法得出的路基湿度状态等效, 则可得:  $H_2 = h_e$ ,  $H_1 = h_0 + h_e = h_0 + H_2$ , 故  $H_1 - H_2 = h_0$ , 但从文献[4]可知, 这种关系并不成立, 因此假设不正确, 由此可见两种方法划分的路基湿度状态并不能等同。

### 2.3.4 判别意图

城市道路侧重于通过试验获得路基土稠度或运用路基相对高度法来对路基干湿状态进行分类, 然后根据不同类型的干湿状态指导设计是否采取处理措施。而公路则偏重于在湿度状态分类的基础上确定路基土的饱和度, 但对饱和度的用途未予以明确, 未建立饱和度与路基回弹模量等指标的关系。

表4 两种路基湿度状态划分标准对比

路基湿度状态	城市道路路基干湿状态划分标准	公路路基湿度状态划分标准
干燥	$H \geq H_1$	$H \geq h_0 + h_e$
中湿	$H_1 > H \geq H_2$	$h_0 + h_e > H \geq h_e$
潮湿	$H_2 > H \geq H_3$	$H < h_e$
过湿	$H < H_3$	-

注:  $H$  为路床顶面距地下水位距离(m);  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  为路基临界高度(m), 见表 3.1-1 注 2;  $h_0$  为路基工作区高度(m);  $h_e$  为地下水毛细最大上升高度(m)。

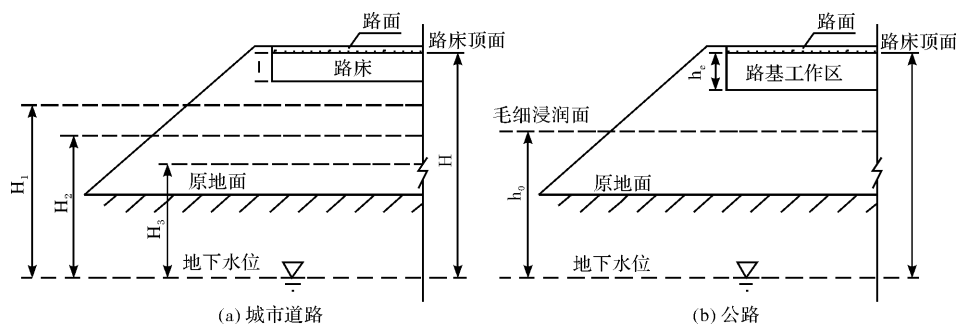


图4 两种路基湿度状况判别示意图

### 3 结语

本文论述了路基湿度状况判别的主要影响因素、判别方法, 对工作中普遍存在疑问的相关问题进行了初步探讨并提出了相应建议, 形成的主要观点如下:

(1) 路基湿度状况判别针对的土质类型主要为砂质土、黏质土和粉质土。对于透水性好、毛细水上升高度很小的巨粒土、粗粒土水稳性较好, 可不考虑路基干湿程度对其强度和稳定性的影响。

(2) 城市道路路基湿度状况可采用分界稠度法、路基相对高度法判别, 判别时机对应最不利季节。公路路基湿度状况可采用室内试验法、土水特征曲线法等方法来表征或预估, 采用平衡湿度的概念, 即路面完工后 2~3 年内路基湿度趋于平衡, 较符合运营期路基实际湿度状况。

(3) 路基湿度状况判别范围主要为路床填土, 但应注意城市道路与公路路床的厚度定义并不完全相同。轻~重交通道路路基干湿类型判别范围可按路床顶面下 80 cm 考虑; 特重、极重交通道路建议按路床顶面下 120 cm 考虑; 对特种轴载的公路, 尚应根据路基工作区深度确定路床厚度。

(4) 虽然从一般特征上看两种方法对不同干湿类别路基的划分均基于路床或路基工作区与毛细浸润湿区的位置关系来确定, 但两者的判别标准并不等同, 实际工作中应避免混用。

(5) 路基湿度状况的判别方法规范已相当明确, 但判别后对设计的指导作用还有欠缺, 建议今后相关规范修订时加强这方面的工作。

### 参考文献:

- [1] 中华人民共和国交通部. JTG D30-2015 公路路基设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2015.
- [2] 曹长伟. 路基湿度状况及模量调整系数研究[D]. 上海: 同济大学博士学位论文, 2007.
- [3] 黄兴安. 公路与城市道路设计手册[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.
- [4] 中华人民共和国住建部. CJJ 194-2013 城市道路路基设计规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2013.
- [5] 栾海. 关于季冻区路基干湿类型划分方法的研究[J]. 西南公路, 2013(2): 40-43.
- [6] 唐洪军. 复杂环境因素关联下路基平衡湿度状态精细表征[D]. 重庆: 重庆交通大学硕士学位论文, 2014.
- [7] 中华人民共和国交通部. JTG D50-2006 公路沥青路面设计规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2006.
- [8] 孙君, 杨兆云, 丁云飞. 路基土干湿类型判定的若干问题浅析[J]. 分析评价, 2014, 9(4): 27-30.

## Discrimination of Road Base Humidity in Road Engineering Survey and Design

HU Yisheng and ZHONG Jinliang

(JSTI Group, Nanjing 210019, China)

**Abstract:** We make a preliminary discussion on the discriminant method of the moisture status of Subgrade in China's current urban road subgrade design code and the code for the design of road subgrade, and analyze the relation and difference between the two. The balance humidity of road subgrade is similar to the classification of the dry and wet type of the road subgrade in the classification of the humidity of the subgrade, but the criterion is different, and the purpose of the classification is different. It is necessary to avoid confusion in practical application.

**Key words:** highway; urban road; roadbed; humidity