

## 城市道路典型路面结构验收指标及影响因素分析\*

李明娟<sup>1</sup>, 梅崇文<sup>2</sup>

(1.嘉兴南洋职业技术学院, 浙江 嘉兴 314031; 2.嘉兴市规划设计研究院有限公司, 浙江 嘉兴 314050)

**摘要:** 对嘉兴市城市道路典型路面结构的路表设计弯沉值、路基顶面交工验收弯沉值及各结构层顶面交工验收弯沉值等设计、验收指标进行了计算, 并分析了容许弯沉值的影响因素, 以指导城市道路路面结构设计, 并为市政工程路基路面质量控制提供依据。

**关键词:** 公路; 城市道路; 典型路面结构; 弯沉值; 验收指标

**中图分类号:** U416.217

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1671-2668(2017)02-0066-03

城市道路沥青路面结构设计主要采用路表弯沉值、柔性基层沥青层层底拉应变、半刚性基层层底拉应力和沥青层剪应力进行控制, 道路等级较低时仅采用路表弯沉值进行控制。嘉兴市城市道路典型路面结构主要为半刚性基层柔性路面, 主要设计指标为路表回弹弯沉值、弯拉应力及剪应力。城市道路沥青路面验收规范明确要求实测弯沉值不得大于设计弯沉值, 可见弯沉值是沥青路面设计、施工中的关键性指标, 是反映路面质量的重要因素。然而在实际工程中弯沉值会受到多种因素影响, 进而影响路面质量和使用寿命。

## 1 验收指标

根据《城镇道路工程施工与质量验收规范》和道路建筑材料特性, 城市道路路面各结构层检验标准中的主控项目不尽相同。目前城市道路典型路面结构采用半刚性基层柔性路面, 面层采用热拌沥青混合料, 基层、底基层采用水泥稳定碎石, 其中土路基的验收主控项目为压实度和弯沉值, 水泥稳定土类基层及底基层的验收主控项目为压实度和 7 d 无侧限抗压强度, 热拌沥青混合料面层的验收主控项目为压实度、面层厚度和弯沉值。下面以嘉兴市城市道路典型路面结构为对象, 着重分析城市道路典型路面结构的关键性验收指标——交工验收弯沉值。

## 2 设计弯沉值

沥青路面路表设计弯沉值  $l_d$  主要根据道路等级、设计使用年限内累计当量轴次、面层和基层类型等参数确定, 计算公式为  $l_d = 600N_e^{-0.2} A_c A_s A_b$

( $N_e$  为设计年限内一条车道上的累计当量轴次;  $A_s$  为面层类型系数;  $A_c$  为公路等级系数;  $A_b$  为基层类型系数, 半刚性基层取 1.0, 柔性基层取 1.6), 路面结构类型根据道路等级、使用要求及投资情况确定。典型路面结构中面层采用热拌沥青混合料,  $A_s = 1.0$ ; 基层采用水泥稳定碎石(半刚性),  $A_b = 1.0$ 。路表设计弯沉仅与设计使用年限内一条车道上的累计当量轴次  $N_e$  和道路等级系数  $A_c$  相关。由此得到表 1 所示典型路面结构路表设计弯沉值。

表 1 典型路面结构路表设计弯沉值

道路等级	$A_c$	不同累计当量轴次(万次/车道)下的设计弯沉/(0.01 mm)			
		<400	400~1 200	1 200~2 500	>2 500
快速路、主干路	1.0	>28.69	23.03~28.69	19.89~23.03	<19.89
次干路	1.1	>31.56	25.33~31.56	21.88~25.33	<21.88
支路	1.2	>34.43	27.64~34.43	23.86~27.64	<23.86

## 3 容许弯沉值的影响因素

### 3.1 交通量

容许弯沉值是指沥青路面在期末的最不利季节, 在设计标准轴载作用下容许产生的最大回弹弯沉值。交通量是影响容许弯沉值的最重要因素。沥青路面结构设计流程中, 首先是调查交通量, 计算设计使用年限内一条车道上的累计当量轴次。交通量预测结果受初始交通量、交通量年增长率及其分段、车辆类型、周边路网建设、地块开发程度等因素的影响, 道路设计交通量很难与建成后的实际交通量较

\* 基金项目: 浙江省嘉兴市 2014 年度科技计划项目(Z2014AY11030)

好地吻合。交通量对路表设计弯沉值、路面各结构层厚度等有较大影响,但对典型路面结构交工验收弯沉值无影响。

### 3.2 半刚性基层龄期

嘉兴市城市道路典型路面结构一般采用水泥稳定碎石等半刚性基层,水泥稳定碎石碾压成型后强度随龄期增长而增长。规范要求水泥稳定碎石的设计龄期为 90 d,验算龄期为 30 d;道路基层施工自下而上分层填筑压实,底基层满足龄期和强度要求时方可进行上基层施工。实际市政工程施工中往往受工期等因素影响,无法满足设计龄期 90 d 和验算龄期 30 d 的要求,导致路面回弹弯沉值无法反映路基路面综合承载能力。根据半刚性基层材料强度形成特点,半刚性基层龄期是否满足要求对容许弯沉值有较大影响。

### 3.3 弯沉检测技术

弯沉值作为沥青路面质量评定的主要指标,回弹弯沉值是路面结构设计的主要参数,其检测和修正的准确性具有重要工程意义。目前较为成熟的弯沉检测技术主要有贝克曼梁法(BB)、自动弯沉仪法及改进的落锤式弯沉仪法(FWD)。自动弯沉仪法是一种静态测试技术,需应用贝克曼梁进行标定换算。下面对实际应用中弯沉值检测结果差异较大的 BB 法和 FWD 法进行对比分析。

BB 法适用于测定各类路基路面的回弹弯沉值,主要采用标准车+贝克曼梁,具有较好的适用性;FWD 法利用动态弯沉测试设备测定路基路面的动态总弯沉,是目前较为先进的无损检测技术,但检测过程中要求承载板与路基路面贴合紧密,对路基路面表面的平整度和结构的稳定性有较高要求,适用性存在一定局限。沥青面层及水泥稳定碎石基层检测过程中 FWD 法与 BB 法有较好的关联性,可根据实际需要选择检测方法;而碎石垫层、宕渣路基弯沉检测过程中承载板不能很好地与检测面贴合,测定结果偏差较大,FWD 法不适用。

## 4 弯沉值验收标准

路基顶面交工验收弯沉值的计算方法主要有两种:一是 JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》,路基顶面回弹弯沉  $l_0 = 9\ 308E_0^{-0.938}$ ,其中  $E_0$  为路基回弹模量(MPa)。二是 JTG D50—2006《公路沥青路面设计规范》,路基顶面回弹弯沉  $l_{0D} = 2p\delta(1-\mu_0^2)\alpha_0 \times 10^2 / (E_{0D}K_1)$ ,其中: $p$ 、 $\delta$  分别为测

定车的轮胎接地压强(MPa)和当量圆半径(mm); $\mu_0$  为土基的泊松比,取 0.35; $\alpha_0$  为均匀体弯沉系数,取 0.712; $E_{0D}$  为路基设计回弹模量(MPa); $K_1$  为季节影响系数,根据当地经验确定。通过计算可知路基顶面交工验收弯沉值仅与路基回弹模量有关,两种方法的路基顶面交工验收弯沉值计算结果及根据嘉兴地区实际情况修正后的弯沉值见表 2。

表 2 典型路面结构路基顶面交工验收弯沉值

路基回弹 模量/MPa	路基顶面交工验收弯沉值/(0.01 mm)			
	JTG/T F20—2015		JTG D50—2006	
	规范计 算值	修正后 弯沉值	规范计 算值	修正后 弯沉值
20	560.39	454.56	457.97	372.62
25	454.56	368.71	366.30	298.10
30	383.10	310.75	305.17	248.41
35	331.53	268.92	261.54	212.93

沥青路面基层、底基层及垫层等结构层顶面交工验收弯沉值可根据《公路路面基层施工技术细则》中的计算公式确定,在此不再赘述。底基层顶面的回弹弯沉  $l_1 = 2p\delta F / (E_0 K_1)$ ,其中: $p$  为后轴重 100 kN 货车轮胎的单位压力; $\delta$  为荷载圆半径; $F = 3.643\alpha_L^{1.8519}$ ;  $\alpha_L$  为底基层表面弯沉系数,由路基、底基层材料回弹模量  $E_0$ 、 $E_1$  和底基层厚度  $h_1$  计算确定; $K_1$  为季节影响系数,取 1.2~1.4。基层顶面的回弹弯沉  $l_2 = 2p\delta\alpha'_L F / (E_0 K_1)$ ,其中: $\alpha'_L$  为基层顶面弯沉系数,由路基、底基层、基层材料回弹模量  $E_0$ 、 $E_1$ 、 $E_2$  和底基层、基层厚度  $h_1$ 、 $h_2$  计算确定。对嘉兴市城市道路典型路面各结构层顶面交工验收弯沉值进行计算,结果见表 3~7。

表 3 嘉兴市城市快速路典型路面各结构层

顶面交工验收弯沉值		0.01 mm	
结构形式	弯沉值	结构形式	弯沉值
4 cm OGFC—13	19.34	4 cm OGFC—13	22.22
6 cm AC—20C	20.80	5 cm AC—20C	24.08
8 cm AC—25C	23.40	7 cm AC—25C	26.88
1 cm SSC(ES—3)	—	1 cm SSC(ES—3)	—
20 cm CSRS—5.0%	27.46	18 cm CSRS—5.0%	31.21
20 cm CSRS—3.5%	58.96	20 cm CSRS—3.5%	63.39
20 cm GCS	186.77	20 cm GCS	206.98
$E_0 = 35$ MPa	268.92	$E_0 = 30$ MPa	310.75

注:CSRS 代表水泥稳定碎石;GCS 代表级配碎石;SSC 代表乳化沥青稀浆封层。下同。

表4 嘉兴市城市主干路典型路面各结构层顶面交工验收弯沉值

0.01 mm

结构形式	弯沉值	结构形式	弯沉值	结构形式	弯沉值
4 cm AC-13C	20.68	4 cm AC-13C	26.12	4 cm AC-13C	27.39
5 cm AC-20C	22.57	8 cm AC-25C	29.13	7 cm AC-25C	30.69
7 cm AC-25C	24.14	1 cm SSC(ES-3)	—	1 cm SSC(ES-3)	—
1 cm SSC(ES-3)	—	18 cm CSRS-5.0%	35.09	17 cm CSRS-5.0%	36.31
18 cm CSRS-5.0%	29.16	18 cm CSRS-3.5%	77.47	18 cm CSRS-3.5%	77.47
20 cm CSRS-3.5%	58.96	15 cm GCS	258.04	15 cm GCS	258.04
20 cm GCS	216.69	$E_0=30$ MPa	310.75	$E_0=30$ MPa	310.75
$E_0=35$ MPa	268.92				

表5 嘉兴市城市次干路典型路面各结构层

顶面交工验收弯沉值 0.01 mm

结构形式	弯沉值	结构形式	弯沉值
4 cm AC-13C	27.39	4 cm AC-13C	29.09
7 cm AC-25C	30.69	8 cm AC-25C	32.63
17 cm CSRS-5.0%	36.31	17 cm CSRS-5.0%	39.59
18 cm CSRS-3.5%	77.47	18 cm CSRS-3.5%	85.16
15 cm GCS	258.04	15 cm GCS	296.33
$E_0=30$ MPa	310.75	$E_0=25$ MPa	368.71

表6 嘉兴市城市支路典型路面各结构层

顶面交工验收弯沉值 0.01 mm

结构形式	弯沉值	结构形式	弯沉值
4 cm AC-13C	34.69	4 cm AC-13C	34.34
6 cm AC-20C	39.50	7 cm AC-25C	39.22
15 cm CSRS-5.0%	47.59	15 cm CSRS-5.0%	47.59
15 cm CSRS-3.5%	100.87	15 cm CSRS-3.5%	100.87
15 cm GCS	296.33	15 cm GCS	296.33
$E_0=25$ MPa	368.71	$E_0=25$ MPa	368.71

表7 嘉兴市城市辅道、非机动车道及小区道路典型路面各结构层顶面交工验收弯沉值 0.01 mm

辅道、非机动车道 路面结构形式	弯沉值	小区道路路 面结构形式	弯沉值
4 cm AC-13C	39.69	3 cm AC-10F	56.42
7 cm AC-25C	46.32	5 cm AC-20C	65.69
15 cm CSRS-5.0%	58.12	25 cm CSRS-5.0%	81.65
15 cm CSRS-3.5%	151.03	$E_0=20$ MPa	454.56
$E_0=25$ MPa	368.71		

## 5 结语

该文通过对嘉兴市城市道路典型路面结构路表

设计弯沉值、路基顶面交工验收弯沉值、各结构层顶面交工验收弯沉值等进行计算,为城市道路路面结构设计、施工提供指导,并为道路竣工验收提供依据。典型路面结构竣工验收指标的确定,将大大推动嘉兴市城市道路工程建设标准化。

根据对路面容许弯沉值影响因素的分析,施工过程中应注意保证半刚性基层(底基层)满足设计龄期和验收龄期的要求。路基路面竣工验收时应合理选择弯沉检测方法,避免因检测方法不当造成测定结果不准确。

## 参考文献:

- [1] CJJ 1—2008.城镇道路工程施工与质量验收规范[S].
- [2] 2011JSCS—MR,城市道路工程设计技术措施[S].
- [3] 王建伟,孟祥凯.容许弯沉值作为城市道路控制指标的探讨[J].城市道桥与防洪,1999(2).
- [4] 高翔.弯沉检测在路基质量控制中的对比研究应用[J].科技创新与应用,2013(19).
- [5] JTG/T F20—2015,公路路面基层施工技术细则[S].
- [6] JTG D50—2006,公路沥青路面设计规范[S].
- [7] 陈体华,曾明水.沥青路面结构层厚度与弯沉验收值的确定[J].公路与汽运,2003(2).
- [8] 董元帅,唐伯明,刘清泉,等.基于弯沉盆参数的沥青路面动态弯沉综合修正系数[J].东南大学学报:自然科学版,2011,41(5).
- [9] 林榕.沥青路面弯沉指标验收标准的探讨[D].长沙:长沙理工大学,2012.
- [10] 王理吉.新疆公路路基路面弯沉验收标准修正方法研究[D].西安:长安大学,2009.
- [11] 董元帅.沥青路面动态弯沉综合修正系数研究[D].重庆:重庆交通大学,2010.

收稿日期:2016—09—19