

水泥混凝土路面弯拉强度控制标准及方法

彭大为 张西

(岳阳市通衢兴路公司)

【摘要】 为了提高水泥混凝土路面抗弯拉能力, 分析了当前水泥混凝土路面弯拉强度设计标准、标准值测试方法、合格性判定方法, 给出了路面弯拉强度与配合比设计中的配制弯拉强度、抗压强度、水泥抗折强度、水灰比、劈裂强度以及弯拉弹性模量参数之间的相互转化经验公式。

【关键词】 水泥混凝土路面; 弯拉强度; 质量控制; 换算公式

0 引言

由于水泥混凝土路面材料来源广、造价低、抗压强度高优点, 作为我国两种主要路面结构之一, 广泛用于公路与城市道路中。但一些水泥混凝土路面投入使用后不久就出现断裂损坏现象, 大大缩短了路面使用寿命, 致使维修养护费用增加, 给社会造成较大经济损失。其主要原因之一是施工完成后的水泥混凝土路面抗弯拉强度没有达到设计强度标准。因此, 抗弯拉强度是水泥混凝土路面设计和施工控制最重要的强度指标之一。一般道路用混凝土若原材料满足规范要求、配合比设计正确, 抗压强度可达到设计规范要求, 但抗弯拉强度虽一般只有其抗压强度的 1/8~1/12, 却难以达到设计规范要求, 导致路面易出现断裂破损。针对一般工程人员对弯拉强度认识不足, 本文主要分析、研讨了水泥混凝土路面弯拉强度的设计标准、标准值测试方法、合格性判定方法, 并给出了与配合比设计配制弯拉强度、抗压强度、水泥抗折强度、水灰比、劈裂强度和弯拉弹性模量参数的相互转化经验公式, 供相关技术人员参考。

1 设计标准

公路水泥混凝土路面设计规范^[1]规定: 面层板分析应采用弹性地基板理论, 混凝土设计强度采用 28d 弯拉强度, 其标准值按照交通荷载等级确定, 旧混凝土路面弯拉强度采用实测值。

采用该规范进行水泥混凝土结构厚度设计时, 设计标准为车辆荷载、温度应力共同作用下面层板在设计基准期内不产生疲劳断裂, 以满足路面结构性能要求条件; 在两个作用力最大时不发生极限断裂作为验算标

准。并考虑路面结构重要性和施工变异性二个可靠度因素, 即在一定的交通、环境条件下和设计使用年限内满足弯拉强度设计要求的概率。按公式(1)、(2)进行设计控制。

$$\gamma_r(\sigma_{pr} + \sigma_{tr}) \leq f_r \quad (1)$$

$$\gamma_r(\sigma_{r, \max} + \sigma_{t, \max}) \leq f_r \quad (2)$$

式中:

σ_{pr} ——车辆行车荷载疲劳应力, MPa;

σ_{tr} ——温度疲劳应力, MPa;

$\sigma_{r, \max}$ ——最重轴载造成的最大荷载应力, MPa;

$\sigma_{t, \max}$ ——所在区域最大温度梯度造成的最大温度应力, MPa;

f_r ——混凝土弯拉强度标准值, MPa;

γ_r ——可靠度系数。

素混凝土或碾压混凝土的弯拉强度也是控制疲劳开裂的重要调节因素, 其基层应以行车荷载在设计使用年限内无疲劳断裂为设计标准, 按公式(3)进行设计控制。

$$\gamma_r \sigma_{b, pr} \leq f_{b, r} \quad (3)$$

式中:

$\sigma_{b, pr}$ ——行车荷载疲劳应力, MPa;

$f_{b, r}$ ——基层材料弯拉强度标准值, MPa。

旧混凝土路面加铺沥青路面设计时, 当加铺沥青层厚度较小时, 加铺层对降低旧混凝土板内荷载应力很有限, 旧混凝土路面仍起关键的承载作用, 其应力和弯拉强度在设计中起控制作用; 当沥青加铺层厚度较大时, 可按新建沥青路面进行加铺结构设计即可。

2 试验方法

现行规范公路水泥混凝土路面施工技术细则 [2] 中给出了路面混凝土弯拉强度试验方法,如图 1 所示,用中点单点加载的方法确定;现行规范公路工程水泥及水泥石灰混凝土试验规程 [3] 中给出路面混凝土弯拉强度试验方法,如图 2 所示,用三分点两点加载的方法确定。两个规范因发行时间不一致,根据需要选用。可采用弯拉试验机、万能试验机或带有抗弯拉试验架的压力试验机,具体试验步骤及要求见相应规范,中点单点加载试验的弯拉强度按公式(4)计算,三分点加载试验的弯拉强度按公式(5)计算:

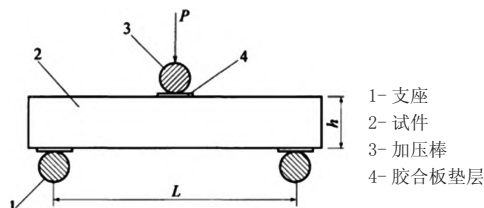


图 1 弯拉试验示意图(单点加载法)

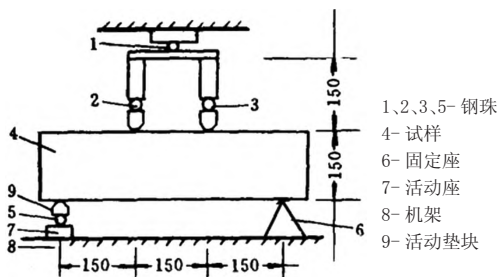


图 2 弯拉试验示意图(两点加载法)

$$R_f = \frac{3PL}{2bh^2} \quad (4)$$

$$R_f = \frac{PL}{bh^2} \quad (5)$$

式中:

R_f ——弯拉强度,MPa;

P ——荷载;

L ——支座距离,mm;

b ——试样宽度,mm;

h ——试样厚度,mm。

中点单点加载法,结果以 5 个试件弯拉强度的平均值和单个试件最小值表示,计算精确至 0.01MPa。

三分点两点加载法的测定值为 3 个试件测量值的算术平均值。若极大、极小值中一个与中间值差值大于中间值的 15%,则剔除该两值,试件弯拉强度取中间值;若两值与中间值的差值均超过 15%时,则结果判定无

效。如有 1 个试件断裂面位于加载处外侧,则弯拉强度计算依据另外 2 个试件的结果;若该两值的差值不超过两值中最小值的 15%,测试结果则取两值的平均值,否则结果判定无效。若有 2 个试件出现断裂面位于加载处外侧,则该组试验判定无效。

3 技术参数相关性

混合料组成材料、养生条件和试验方法不同,水泥混凝土材料的弯拉强度、抗压强度、弹性模量以及劈裂抗拉强度会发生变化 [4-7]。上述因素对各项指标影响程度不同,因此难以在各项指标之间建立理论转换关系式,一些研究者则通过大量试验建立了许多指标间经验转换关系式。

3.1 配制弯拉强度

水泥混凝土路面配合比设计时 28d 弯拉强度的均值按公式(6)计算配制。其中混凝土弯拉强度标准值应不低于规范规定的最小值。其它类型混凝土弯拉强度配制计算公式相同,其标准值满足设计值要求。

$$f_m = \frac{f_r}{1 - 1.04C_{vf}} + ts \quad (6)$$

式中:

f_m ——混凝土弯拉强度均值(28d),MPa;

f_r ——弯拉强度标准值,MPa;

C_{vf} ——弯拉强度变异系数;

t ——保证率系数;

s ——弯拉强度试验标准差,MPa。

3.2 抗压强度

1990 年代初,交通部公路科学研究所等单位对碎石、卵石混凝土进行了大量的弯拉强度和立方体抗压强度试验,拟合出经验公式(7)。

$$f_r = 0.443f_c^{0.71} \quad (n=306, R=0.86) \quad (7)$$

采用该式,通过抗压强度预估弯拉强度时,得到的弯拉强度值偏高,而通过弯拉强度预估抗压强度时,得到的抗压强度值偏低。其他研究者提出了处于中间值的经验公式(8)转换。

$$f_r = 0.438f_c'^{2/3} \quad (8)$$

式(8)中的抗压强度为圆柱体试件的试验结果,立方体试件的强度一般比圆柱体试件大 10%~15%,根据公式(8)转换为立方体试件强度,计算列出了现行规范中 [4] 弯拉强度与抗压强度值的对应关系。

美国力学经验法设计指南给出如下由抗压强度预估弯拉强度的公式(9):

$$f_r = 0.7888f_c^{0.5} \quad (9)$$

3.3 水泥抗折强度及水灰比

面层混凝土配合比设计优先使用正交试验法,采用直观及回归分析得出满足要求的目标配合比。二级及二级以下公路路面混凝土配合比可采用经验公式,碎石混凝土按公式(10)计算,卵石混凝土按公式(11),钢纤维混凝土按公式(12)计算。

$$\frac{W}{C} = \frac{1.5684}{f_m + 1.0097 - 0.3595f_s} \quad (10)$$

$$\frac{W}{C} = \frac{1.2681}{f_m + 1.5492 - 0.4709f_s} \quad (11)$$

$$\frac{W}{C} = \frac{0.128}{\frac{f_m}{f_s} - 0.301 - 0.325\lambda} \quad (12)$$

式中:

$\frac{W}{C}$ ——水灰比;

f_s ——水泥实测抗折强度(28d),MPa;

f_m 同公式(6);

λ ——钢纤维含量特征值。

3.4 劈裂强度

1980年代初,江苏交通厅、中国民航机场设计院等对石灰岩和花岗岩碎石混凝土进行钻孔取样劈裂强度和弯拉强度试验^[8],回归分析拟合出以下经验关系式:

$$f_r = 1.87f_{sp}^{0.87} \quad (n=204, R=0.82) \quad (13)$$

式中:

f_r ——混凝土面层弯拉强度标准值,MPa;

f_{sp} ——旧混凝土面层劈裂强度标准值,MPa。

美国力学经验法设计指南则提出:水泥混凝土劈裂强度一般在 0.6~0.7 倍弯拉强度范围内变动,建议采用 0.67 倍弯拉强度作为劈裂强度。上述公式(13)中劈裂强度在弯拉强度的 0.52~0.63 范围内变动,略低于该建议值。综合上述两个方法,弯拉强度与抗拉(劈裂)强度值的对应关系如下所述。

混凝土路面板的弯拉强度标准值可采用钻孔芯样的劈裂试验测定结果。钻芯、圆柱体劈裂强度与标准小梁弯拉强度试验与强度换算,高速公路、一级公路通过不低于 15 组试验结果的统计分析确定。二级及二级以下根据粗集料岩石品种类型确定,由空间工程设计研究

局通过 114 个钻芯试验确定,相关系数 0.66,公式适用于正常强度范围,外延应用时存在不合理性。石灰岩、花岗岩碎石混凝土按公式(13)确定,玄武岩碎石混凝土按公式(14)确定,砾石混凝土按公式(15)确定。

$$f_r = 3.035f_{sp}^{0.423} \quad (14)$$

$$f_r = 1.607 + 1.035f_{sp} \quad (15)$$

3.5 弯拉弹性模量

1980 年代中期,江苏公路管理局等对石灰岩碎石混凝土、花岗岩碎石混凝土等进行了弯拉弹性模量(挠度法)和弯拉强度试验^[9],得到转换经验公式(16),计算列出了规范中弯拉弹性模量值的经验取值。

$$E_r = 1.44f_r^{0.46} \quad (16)$$

美国力学经验法设计指南给出的抗压强度与弹性模量的换算公式(17)。

$$E_r = 0.044r_r^{1.5}f_r^{0.5} \quad (17)$$

式中:

E_r ——面层弯拉弹性模量,MPa;

r_r ——混凝土重度,N/m³。

建议在实践中根据当地实测混凝土抗压强度、弯拉强度、劈裂抗拉强度及弹性模量试验数据建立本地区混凝土材料力学指标的经验换算公式,并以此进行混凝土路面设计取值。

4 合格评定

标准小梁弯拉强度用于评定施工配合比;钻芯劈裂强度用于评价实际面层施工密实度及弯拉强度^[10,11]。各级公路面层的弯拉强度应采用标准小梁试件评定,采用钻芯取样圆柱体劈裂强度换算的弯拉强度进行验证。

$$f_{cs} \geq f_r + K\sigma \quad (18)$$

式中:

f_{cs} ——合格平均弯拉强度,MPa;

K ——合格评定系数;

σ ——弯拉强度统计均方差。

各等级公路面层混凝土弯拉强度应按规范要求检测频率取样,一个统计数据为每组 3 个试件平均值。试件组数大于 10 组时,按公式(18)判定,若试件组数不超过 19 组时,可以允许有 1 组最小弯拉强度值在 0.80~0.85 f_r 范围;若组数大于 19 组时,一级及以上公路最小弯拉强度 $\geq 0.85f_r$,其它公路允许 1 组最小弯拉强度值在 0.80~0.85 f_r 间;当试件组数 ≤ 10 组时,可用非统计

方法评定,平均值 $\geq 1.15f_c$,最小值 $\geq 0.85f_c$ 。

合格性评判规定:当标准小梁与钻芯平均弯拉强度标准值、最小值和统计变异系数满足要求则判定合格;当部分路面标准小梁弯拉强度不足时,应每公里每车道加密钻取 ≥ 3 芯样,实测劈裂强度,重新换算弯拉强度满足要求则判定合格,否则为不合格。

5 结论

(1)分析了水泥混凝土路面弯拉强度的设计标准及公式、标准值测试方法及计算公式、合格性判定方法及公式;弯拉强度在水泥混凝土结构厚度设计中起重要的控制作用;路面混凝土弯拉强度试验方法可根据需要选取中点单点加载或三分点加载方法;标准小梁弯拉强度用于评定施工配合比,钻芯劈裂强度用于评价实际面层施工密实度及弯拉强度。

(2)给出了水泥混凝土路面弯拉强度与配合比设计中配制弯拉强度、水泥抗折强度、水灰比、抗压强度、劈裂强度、抗弯拉弹性模量等技术参数的相互转化经验公式,可供水泥混凝土路面设计与施工人员参考。

【参考文献】

[1] 《公路水泥混凝土路面设计规范》(JTG D40-2011)。

[2] 《公路水泥混凝土路面施工技术细则》(JTG T F30-2014)。
 [3] 《公路工程水泥及水泥混凝土试验规程》(JTG 3420-2020)。
 [4] 吕寅,池召坤,齐广华. 水泥混凝土抗折性能影响研究[J]. 混凝土世界, 2013(03):82-87.
 [5] 王文良. 浅析水泥混凝土路面抗折强度的影响因素[J]. 黑龙江交通科技, 2010, 33(11):14+16.
 [6] 尚志远. 高抗折强度路面混凝土材料组成与路用性能研究[D]. 长安大学, 2008.
 [7] 袁青山. 影响水泥混凝土路面抗折强度有关问题的试验分析[J]. 湖南交通科技, 2002(02):8-9.
 [8] 郑叶敏. 水泥混凝土路面劈裂强度与弯拉强度的相关性[J]. 山西交通科技, 2009(03):12-14.
 [9] 谢松. 抗弯拉路面水泥混凝土实验研究[D]. 西安建筑科技大学, 2016.
 [10] 王凤喜. 钻芯法推算水泥砼路面弯拉强度探讨[J]. 山东交通科技, 2006(02):39-40.
 [11] 唐伯明,李华. 路面水泥混凝土弯拉强度的合格性评定[J]. 公路, 1994(11):26-30.

[作者简介] 彭大为(1988—),男,汉族,湖南岳阳人,本科,工程师. 研究方向:道路工程设计与施工.
 邮箱:495891311@qq.com

(上接第 85 页)

13-18.
 [18] 张金丹,苏莹,封声凤,等. 装配式框架结构叠合梁连接出现的技术问题及其解决方案 [J]. 建筑施工, 2021, 43(10): 2056-2059.
 [19] 钢筋机械连接技术规程:JGJ 107-2016[S]. 北京:中国建筑工业出版社, 2016.
 [20] 韩文龙,赵作周,钱稼茹,等. 钢筋套筒挤压搭接连接叠合次梁-主梁连接节点受力性能试验研究[J]. 建筑结构学报, 2016, 37(03):86-93.
 [21] 李慧娴,张佩,张宇. 装配式建筑节点湿连接方式研究综述 [J]. 科技风, 2019(06):97-98.
 [22] 钢筋连接用灌浆套筒:JG/T 398-2019[S]. 北京:中国标准出版社, 2019.
 [23] 曾宪纯,马旭新,李海波,等. 直型半灌浆套筒组件用于混凝土预制主梁与次梁的标准化连接 [J]. 建筑结构, 2020, 50(S2):445-451.
 [24] 冯波,王琦,李果,等. 一种装配式框架结构主次梁连接结构 [P]. CN202010315385.6, 2021-12-17.
 [25] Lee K H. An Experimental Research to Evaluate Structural Capacity of Pre-stressed Concrete Beam connected with Embedded Steel Plate. [J] Journal of The Korean Society of Hazard Mitigation. 2010; 10(5), 27-33.
 [26] 许勇,刘波,张季超,等. 新型装配整体式混凝土结构主次梁节点试验研究[J]. 工业建筑, 2009, 39(08):114-117.
 [27] 张季超,张焱君,朱文正,等. 新型装配整体式混凝土主次梁节点试验研究[J]. 施工技术, 2015, 44(03):53-56.
 [28] 吴智伟,张辉,谢旺兰,等. 栓钉钢板企口预制混凝土梁端受力性能试验研究与设计方法 [J]. 建筑结构学报, 2021, 42(10):166-176.
 [29] 颜磊,王磊,赵树浩. 一种双钢板企口连接节点 [P]. CN201820118609.2, 2018-09-18.
 [30] 于健,周慧敏,司建超,等. 搁置式主次梁连接用牛腿板 [P]. CN201921701328.0, 2020-07-10.
 [31] 蔡洁,熊思嘉,周清忘,等. 主梁预留槽次梁后插入式连接节点结构 [P]. CN201821053019.2, 2019-03-26.