

沥青路面施工质量管理中引入付款系数的研讨

王 艳,陈荣生

(东南大学交通学院,江苏 南京 210018)

摘要 采用付款系数进行工程项目付款调整是国外最终产品规范的核心,该方法利用经济杠杆实现了对施工质量的有效控制,通过引入这种新的付款理念和方法,可以有效解决我国沥青路面施工管理中现存的问题。对国外几种不同的付款系数计算方法进行了介绍和比较,算例采用目前国外使用最广泛的付款系数计算方法,结合我国相关路段的实际施工数据进行计算,计算结果表明,采用付款系数进行工程项目的付款额度调整是合理可行的。

关键词 沥青路面 施工质量 最终产品规范 付款系数

中图分类号:U415.12

文献标识码:A

文章编号:1006-764X(2004)07-0051-03

目前,我国的沥青路面施工规范对业主/承包商在施工中应承担的质量责任区分不够明确,业主在工程建设中不仅要承担繁重、具体的项目管理工作,而且要承担很大的质量责任。业主对施工的细节进行规定,不能激励承包商主动改善质量,并且很可能忽略了承包商在施工中积累的有益经验,承包商的主动性和积极性得不到充分的发挥。

此外,一个令业主困扰已久的问题是虽然业主希望对那些验收中质量好的项目进行奖励,但是对于具体奖励多少,目前并没有一个明确的标准可以参考。同时,具体针对哪些关键的质量性能指标进行奖励,规范中也没有统一的规定。如果只是对某个指标实行奖励政策,例如仅对平整度指标实行奖励政策,就会导致承包商对平整度指标过分重视,而忽略了其他的质量性能指标,无法达到提高路面整体质量的目的。

1 最终产品规范简介

美国和加拿大的许多州(省)在沥青路面施工中都采用了最终产品规范方法,也有一些州称之为质量控制/质量保证规范。该规范只关心产品完工后所需要达到的质量要求,即我们需要什么样的产品。采用该规范,承包商对沥青路面的质量负全部责任,业主仅负责质量保证试验和产品验收,这样就将业主从繁重、具体的项目管理中分离出来,同时也给予了承包商更大的主动权,承包商在施工机械、工艺和流程上允许有更大的选择权。该规范调整了业主和承

包商的责任和权利,并对各项责任和权利都有了明确的规定,建立了一个规范的沥青路面质量控制/质量保证体系。

最终产品规范在随机采样的基础上充分采用了统计学原理来制定其验收计划。以往产品质量特性均采用平均值和允许偏差来表征,不能很好地反映质量的一致性 or 均匀性,不易发现和纠正质量缺陷。最终产品规范克服了上述缺点,采用了 P_{PWL} (percent within limits) 表征产品质量满足规范限制的百分比,能正确反映产品质量特性并很快发现和纠正质量缺陷。

目前,沥青路面质量控制基本上还是采取“单点控制”,统计概念应用较少。仅仅采用合格与不合格这种“单点控制”标准对项目进行验收本身就存在一定的不合理、不科学的因素。在最终产品规范中,对不同的性能指标都制定了合理的 P_{PWL} 值作为可接受范围,性能指标值落在一定的范围内都认为是可以接受的,并在可接受范围内根据质量的优劣进行支付调整,只有当性能指标值超出了可接受范围时才认为是被拒绝接受的。这种范围控制的理念较“单点控制”方法更为科学、合理。

最终产品规范中最关键、也是最值得我们借鉴的是付款系数 P_{PF} (pay factor) 的应用。在最终产品规范的指导下,业主不再按照合同价格进行验收支付,而是将合同价格乘以付款系数后所得到的款项支付给承包商。规范根据各种质量性能指标的重要性,给出不同的权重,哪些质量特性指标应有奖罚,在什么

条件下进行奖罚,奖罚多少都有明确的规定.采用这种规范,可以使质量管理更加规范化、科学化,可以弥补我国目前在沥青路面施工管理中的不足.

2 付款系数及其计算

广义上,付款系数是项目合同价格的倍数.在最终产品规范中,合同价格与最终的支付价格往往不一样,业主可以根据验收时的工程质量进行相应的付款调整. P_{PF} 值可高达 1.00 ~ 1.12,低至 0.50 ~ 0.75(取值可根据我国的实际情况进行相应的调整).最终产品规范通常将产品的质量分为可接受质量水平和拒绝接受质量水平,如果产品的质量水平超过了可接受质量水平,获得的 P_{PF} 将大于 1.00;产品的质量水平处于可接受质量水平上, P_{PF} 将等于 1.00;产品的质量水平处于可接受质量水平和拒绝接受质量水平之间,获得的 P_{PF} 将小于 1.00;当 P_{PF} 小于一定值时,产品质量将处于拒绝接受质量水平上,此时产品是被拒绝验收的.但 P_{PF} 值的获得并不简单,需进行详细的计算^[1].在国外,采用最终产品规范都有各自的一套付款系数计算理论.本文对较有代表性的计算理论进行介绍.

2.1 确定计算依据

在计算付款系数之前,必须先确定是以承包商还是以业主的试验数据为依据,也就是说,要确定支付调整以谁的试验为基础.美国各州公路与运输协会(AASHTO)方法中没有明确规定采用谁的试验数据作为计算基础,但是在计算总付款系数后要根据业主的平整度指标进行付款系数的进一步调整;美国德克萨斯州采用的是业主的试验数据,加拿大的安大略省则采用承包商的数据.纵观美国采用最终产品规范的各州,约 65% 的州采用承包商的试验数据进行 P_{PF} 的计算,而其余 35% 的州采用业主的试验数据进行计算^[2].

2.2 P_{PWL} 值的计算

P_{PWL} 的计算步骤^[1,5]如下(公式 3 采用了统计学原理,但同时有别于 3σ 控制原理):

a. 计算均值 $\bar{X}$.

$$\bar{X} = \frac{\sum_i X_i}{n} \tag{1}$$

b. 计算样本标准差.

$$S = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} \tag{2}$$

c. 计算质量指数 Q_i .质量指数是采用样本的规范界限计算得到的统计量.公式为

$$\begin{cases} Q_L = \frac{\bar{X} - X_{LL}}{S} \\ Q_U = \frac{X_{UL} - \bar{X}}{S} \end{cases} \tag{3}$$

式中: Q_L 为低质量指数值; Q_U 为高质量指数值; X_{LL} 为规范下限; X_{UL} 为规范上限.

d. 计算 P_{PWL} .

$$P_{PWL} = (P_L + P_U) - 100 \tag{4}$$

式中: P_{PWL} 为满足规范的百分比; P_L 为满足规范下限的百分比; P_U 为满足规范上限的百分比.当没有规定规范下限时, $P_L = 100$.当规范上限为 100% 或没有规定规范上限时, $P_U = 100$. P_L 和 P_U 由 Q_L 和 Q_U 以及试验结果的个数 n 查表确定^[3~6].

2.3 P_{PF} 值的计算

根据 P_{PWL} 确定各个质量性能指标对应的 P_{PF} 值有多种方法.

2.3.1 AASHTO 的 QC/QA 规范^[3]

$$P_{PF} = 0.50P_{PWL} + 55 \tag{5}$$

$$P_{PFT} = 0.20P_{PFa} + 0.35P_{PFvv} + 0.10P_{PFvma} + 0.35P_{PFp} \tag{6}$$

式中: P_{PFT} 为总的付款系数; P_{PFa} , P_{PFvv} , P_{PFvma} 和 P_{PFp} 分别为基于沥青用量、孔隙率、矿料间隙率和理论密度计算得到的单个指标付款系数值.

从式(5)可以看出,当 P_{PWL} 为 100% 时,在合同价格的基础上奖励支付 5%;当 P_{PWL} 为 0 时,在合同价格的基础上减少 45% 的支付(这时的产品已经是不能进行合格验收了).

美国加利福尼亚州的 Superpave(超级路面)设计方法采用与 AASHTO 相同的公式计算各个指标的 P_{PF} ,只是计算总 P_{PFT} 时选择的关键指标和权重略有不同^[3].

2.3.2 德克萨斯州查图法

美国德克萨斯州采用查图法来确定各个性能指标的 P_{PF} 值,从图 1 可以看出,如果由样本试验值计算得到的 P_{PWL} 值大于 75%(对应图中的横坐标为 25%), P_{PF} 大于或等于 1;如果由样本试验值计算得到的 P_{PWL} 值低于 20%(对应图中的横坐标为 80%), P_{PF} 急剧下降,并且不能被业主接受.采用查图法确定了各个性能指标相应的 P_{PF} 后,将各个 P_{PF} 按权重相加确定出总 P_{PF} 值.德克萨斯州施工验收的反复实践证明,采用这种方法确定的 P_{PF} 在实际施工质量管理中效果很好^[4].

2.3.3 查表与公式计算结合法

加拿大安大略省采用查表与公式计算相结合的方法.计算时,先查表确定各个性能指标对应的 P_{PF}

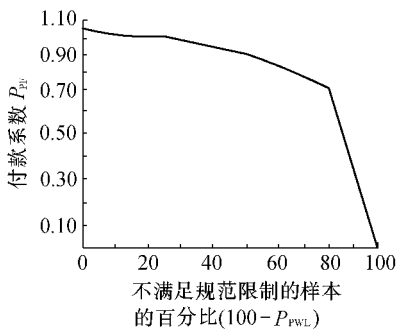


图1 美国德克萨斯州基于 P_{PWL} 值调整 P_{PF} 值用图
值^[5] 然后据查得的各个性能指标的 P_{PF} 值计算总的付款系数,具体计算公式如下^[5,6]:

a. 确定集料级配的付款系数.

$$P_{PF, \alpha(SUB)} = P_{PF, DLS} + P_{PF, 4.75OR2.36} + P_{PF, 0.60} + P_{PF, 0.075} \quad (7)$$

$$P_{PF, G} = \begin{cases} P_{PF, \alpha(SUB)} - 3 & P_{PF, \alpha(SUB)} \geq 4 \\ P_{PF, \alpha(SUB)} / 4 & P_{PF, \alpha(SUB)} < 4 \end{cases} \quad (8)$$

式中: $P_{PF, G}$ 为级配的付款系数; $P_{PF, DLS}$, $P_{PF, 4.75}$, $P_{PF, 2.36}$, $P_{PF, 0.60}$, $P_{PF, 0.075}$ 分别为与相应筛孔通过率对应的付款系数. 其中 Superpave 沥青混合料和 SMA 采用 $P_{PF, 4.75}$, 马歇尔(Marshall) 沥青混合料和磨耗层采用 $P_{PF, 2.63}$.

b. 确定混合料级配和沥青用量的综合付款系数.

$$P_{PF, GAB(SUB)} = P_{PF, G} + P_{PF, AB} \quad (9)$$

$$P_{PF, GAB} = \begin{cases} P_{PF, GAB(SUB)} - 1 & P_{PF, GAB(SUB)} \geq 2 \\ P_{PF, GAB(SUB)} / 2 & P_{PF, GAB(SUB)} < 2 \end{cases} \quad (10)$$

式中: $P_{PF, AB}$ 为沥青用量对应的付款系数; $P_{PF, GAB}$ 为相应的集料和混合料级配的综合付款系数.

c. 总付款系数(级配、沥青用量、压实度).

$$P_{PFK(SUB)} = P_{PF, G} + P_{PF, GAB} \quad (11)$$

$$P_{PFT} = \begin{cases} P_{PFK(SUB)} - 1 & P_{PFK(SUB)} \geq 2 \\ P_{PFK(SUB)} / 2 & P_{PFK(SUB)} < 2 \end{cases} \quad (12)$$

式中: $P_{PF, C}$ 为压实度对应的付款系数; P_{PFT} 为总付款系数.

2.4 几种常用付款系数计算方法的讨论

AASHTO 和 Superpave 采用的付款系数计算方法简单明了,只需确定出计算所采用的关键性能指标以及相应的权重,用两个简单的线性公式即可计算出总的付款系数.在将付款系数的概念引入到江苏省沥青路面施工质量管理体系之初,可以考虑采用 AASHTO 方法计算付款系数.

美国德克萨斯州的查图法也较简单,但由于各国沥青路面施工技术和方法存在一定的差异,对于

这种建立在经验基础上的查图方法不可盲目套用,可在最终产品规范在我国广泛应用并积累了一定经验的基础上,制定类似有效的方法.

对加拿大安大略省提供的数据表格^[5]进行拟合分析(见图2)发现基于各项性能指标的 P_{PWL} 计算相应 P_{PF} 值的公式并不相同,并且各个性能指标的 P_{PWL} 与其 P_{PF} 之间也并非完全是线性的关系.笔者认为这可能是在试验或经验的基础上,根据各个指标的重要性不同而选用了不同的参数或公式.对于不同的指标,相同的 P_{PWL} 值对应的 P_{PF} 值不同,并且随着 P_{PWL} 的减少,不同指标对应的 P_{PF} 值减小的幅度也不同.采用这种方法确定付款系数过于繁琐,同时对每个指标的基于 P_{PWL} 的 P_{PF} 调整幅度不易把握.因此,在最终产品规范制定和应用初期,不宜采用该法.

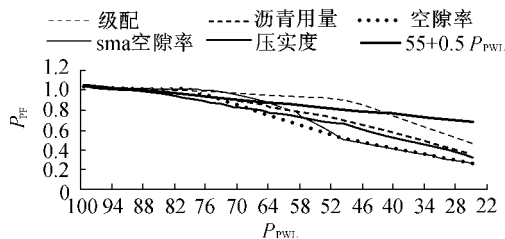


图2 加拿大安大略省基于 P_{PWL} 值调整 P_{PF} 值的数据表拟合结果

3 建议和讨论

目前,我国尚未制定出相应的最终产品规范,但可以先在沥青路面施工质量管理体系中引入付款系数的概念和方法,在工程实践中边应用、边积累和总结经验,一方面可以验证江苏省正在研究试用的最终产品规范的合理性和有效性,另一方面也可为今后我国制定最终产品规范提供参考和依据.

对于付款系数的计算,美国各州并没有统一的标准.基于这种情况,在付款系数引入之初,可以考虑采用计算简单、思路清晰的 AASHTO 付款系数计算公式,并可以借鉴性地采用德克萨斯州的图表法确定各项质量性能指标相应的 P_{PF} 值,在实际应用中进行分析,比较哪种方法对江苏省的施工情况更适合,时机成熟以后再确定适合江苏省的付款系数计算方法.另外,各个州在关键指标的选择以及指标权重的选择上均有不同,我们应根据江苏沥青路面的施工水平和方法确定计算总付款系数所采用的关键性能指标及相应权重.此外,在沥青路面施工技术发展的不同时期,各个质量性能指标对应的权重应该是不同的.如果施工中对于某一个质量性能指标的控制已经很好并且很稳定,可以适当减小这个指标的权重,同时加大那些对沥青路面质量影响较大并且施工中不易控制的质量性能指标的权重.权重的选择与施工质量息息相关, (下转第74页)

$y = 1.142x - 45.96$, $F_{\min} = 522.33$ (11)

比较式 (6)~(11) 可见 , 以搜索试算法的 $F_{\min}$ 值最小 , 通过任一点的最小一乘解 $F_{\min}$ 值次之 , 而通过均值点的最小一乘解和最小二乘解 $F_{\min}$ 值均不为最小 .

4 结 论

比较计算结果可知 : ①在无异常点的情况下 , 通过均值点回归方程的最小一乘解和最小二乘解 , $F_{\min}$ 值基本接近 , 但最小一乘法较最小二乘法计算简捷方便 ; ②在有异常点的情况下 , 通过均值点回归方程的最小一乘解和最小二乘解 , 回归方程迥然不同 , 最小二乘解的 $F_{\min}$ 值明显大于最小一乘解的 $F_{\min}$ 值 ; ③回归方程的最小一乘解计算方法 , 以不通过均值点而通过某一点的 $F_{\min}$ 值较小 , 其中 , 搜索试算法的 $F_{\min}$ 值最小 , 但该方法有选取初值的问题 . 只

(上接第 53 页) 应将权重的选择与施工实践相结合 , 不断修正各个指标对应的权重 .

笔者采用前述的 AASHTO 付款系数计算方法 , 并结合专家调查法 (业主、施工单位和科研机构专家各占 1/3) 确定出 5 个关键的质量性能指标和相应的权重 , 计算了江苏省两条已投入使用的高速公路——公路 1、公路 2 的某个标段的付款系数 (计算过程略) , 见表 1 和表 2 .

表 1 公路 1 某标段中、下面层 P_{PF} 值计算结果

所在面层	P_{PF}				
	样本 1	样本 2	样本 3	样本 4	样本 5
下面层	1.010	1.024	1.001	1.011	1.007
中面层	0.986	1.038	0.933	0.898	0.892

表 2 公路 2 某标段中、下面层 P_{PF} 值计算汇总

所在面层	P_{PF}		
	样本 1	样本 2	样本 3
下面层	1.015	1.010	0.946
中面层	0.980	0.924	0.915

施工中连续 6 次试验的作为一个样本 , 即子样本大小 n 为 6 . 选用的质量性能指标为 : 级配、油石比、空隙率、压实度 , 权重选择为 0.3 0.2 0.3 0.2 . 由于施工数据不完整 , 两个路段选择的样本数量不相等 .

从表 1 和表 2 可以看出 : 下面层的 P_{PF} 基本大于 1 , 中面层的 P_{PF} 基本小于 1 , 说明下面层施工质量明显好于中面层的施工质量 . 公路 1 某标段下面层的第 2 个样本的 P_{PF} 远大于下面层其他样本的 P_{PF} , 同时 , 公路 2 某标段下面层的第 3 个样本的 P_{PF} 远小于下面层其他样本的 P_{PF} . 从目前这两条路段的使用情况来看 , 计算结果与实际情况相符 , 即计算出 P_{PF} 较高的路段 , 其使用情况也较好 , 反之亦然 . 这表明采用付款系数进行验收支付是合理可行的 .

有在确定通过均值点的回归方程后 , 进行搜索试算才较为方便 , 有时还会遇到多次搜索试算的问题 ; ④通过某一点 $(x_m, y_m) = (x_i, y_i)$ 回归方程的最小一乘解要进行多次运算 , 工作量较大 , 但可一次成功 , $F_{\min}$ 值也较小 ; ⑤最小一乘法的回归方程较之最小二乘法具有绝对残差和 $F_{\min}$ 最小的优越性 , 不会因特异点而使预报方程导致较大误差 . 因此 , 值得推广使用 .

(本文曾得到张善余老师的指导 , 特此致谢 .)

参考文献 :

[1] 金光炎 . 水文水资源随机分析 [M] . 北京 : 中国科技出版社 , 1993 . 119 .

[2] 金光炎 . 线性回归与最小一乘解 [J] . 水文 , 1996 (3) : 1 ~ 6 .

(收稿日期 2004-04-28 编辑 : 马敏峰)

4 结 语

最终产品规范采用与质量直接相关的付款系数进行验收支付 , 更好地体现出“ 优质优价 ” 的思想 , 并成功实现了以经济杠杆来控制产品质量 , 使沥青路面施工管理更加规范、合理 . 我们要在综合分析国外最终产品规范的基础上 , 总结出其中科学合理的因素 , 结合具体试点项目 , 研究制定适合江苏省实际情况的最终产品规范 , 并分析其应用对工程造价、质量、施工以及管理所产生的影响 , 然后分阶段推广应用 , 进一步提高沥青路面施工水平和路面施工质量 .

参考文献 :

[1] Muench S T , Mahoney J P . A quantification and evaluation of WSDOT ' s hot mix asphalt concrete statistical acceptance specification [S] . Washington : Washington State Transportation Center (TRAC) . 2001 . 11 ~ 14 .

[2] Butts N E , Ksaibati K . Asphalt pavement quality control/quality assurance programs in the United States [A] . In : Paper of TRB 2003 annual meeting [C] . Washington : Transportation Research Board 2002 . 4 ~ 14 .

[3] Yeo R , Vuong B , Alderson A . Asphalt concrete statistics acceptance specification [S] . Wisconsin : Wisconsin Asphalt Pavement Association 2003 . Appendix A-III 56 ~ 58 , 59 ~ 60 .

[4] Bohuslav T R . Material specification [S] . Texas : Texas Department of transportation . 2002 .

[5] Emory J M , Duckert B . Field guide for the acceptance of hot mix and bridge deck waterproofing [M] . Ontario : Bituminous Section Materials Engineering and Research Office 2002 . 47 ~ 51 , Appendix C .

[6] Bouldin M G , Elmore W E . End-result construction specification for hot mix asphalt [S] . Illinois : Department of Civil Engineering . 2003 . 28 ~ 29 .

(收稿日期 2004-05-27 编辑 : 骆超)