

机场水泥混凝土道面厚度的确定方法比较

张睿

中国航空国际建设投资有限公司, 北京 100120

[摘要]随着国际化合作在民航工程建设领域的不断加强,我们接触到的国外机场建设项目也会越来越复杂,等级也越来越高,相应的设计要求也会越来越严格。在国际合作背景下的机场飞行区设计存在着标准和规范上的差异,标准的差异必然对项目的设计和施工带来影响。因此,对于国内外飞行区道面结构的计算方法的比较非常必要,在寻找差异的同时,对设计方法的比较和结合能够完善设计思路,提升设计成果的合理性。

研究目的:

(1) 结合收集整理的国内外不同方法计算道面水泥混凝土厚度的算例,比较分析我国规范和 FAA 框架下机场道面结构计算的差异;

(2) 依据不同计算方法获得的道面结构结果,比较两种规范设计的侧重点以及道面结构承载力的影响;

(3) 验证不同规范下计算所得道面结构是否能够互相满足要去,分析两种计算方法兼容性。

研究内容简介:本次研究内容主要为理论计算研究,对国内外机场刚性道面结构层厚度理论计算方法进行比较。

(1) 运用现行中国民航总局的刚性道面设计方法(力学经验法)与美国联邦航空局(FAA, Federal Aviation Administration)的刚性道面设计方法(FAARFIELD法),在两种飞机运行荷载情况下,对不同情况下机场水泥混凝土道面设计结果进行对比分析;同时,为反映机场实际交通情况,拟定两组多种飞机进行设计对比。

(2) 通过对公司相关国际合作项目设计项目的整理,分析两种框架下的机场刚性道面结构层计算结果,总结差异性和兼容性。

[关键词]刚性道面; 机场; FAARFIELD 法

DOI: 10.33142/ec.v2i5.364

中图分类号: U416.217

文献标识码: A

Comparison of Determination Methods for Thickness of Airport Cement Concrete Pavement

ZHANG Rui

Air China International Construction Investment Co., Ltd., Beijing, China 100123

Abstract: with the continuous strengthening of international cooperation in the field of civil aviation engineering construction, the foreign airport construction projects we come into contact with will become more and more complex, the grade will become higher and higher, and the corresponding design requirements will become more and more stringent. There are differences in standards and specifications in the design of airport flight area under the background of international cooperation, and the differences of standards will inevitably have an impact on the design and construction of the project. Therefore, it is very necessary to compare the calculation methods of the pavement structure of the flight area at home and abroad. At the same time, the comparison and combination of the design methods can improve the design ideas and improve the rationality of the design results.

Purpose:

(1) Combined with the examples of different methods at home and abroad to calculate the thickness of pavement cement concrete, the differences of airport pavement structure calculation between Chinese code and FAA framework are compared and analyzed.

(2) According to the results of pavement structure obtained by different calculation methods, the emphasis of the two codes and the influence of bearing capacity of pavement structure are compared.

(3) verify whether the calculated pavement structure can satisfy each other under different specifications, and analyze the compatibility of the two calculation methods.

Brief introduction: the main content of this study is theoretical calculation, and the theoretical calculation methods of structural layer thickness of airport rigid pavement at home and abroad are compared.

The main results are as follows: (1) by using the rigid pavement design method of the General Administration of Civil Aviation of China (mechanical experience method) and the rigid pavement design method of FAA, Federal Aviation Administration) (FAARFIELD method), the design results of airport cement concrete pavement under different aircraft operating loads are compared and analyzed, and at the same time, in order to reflect the actual traffic situation of the airport, two groups of aircraft are designed and compared.

(2) through the collation of the design projects of the relevant international cooperation projects of the company, the calculation results of the rigid pavement structure layer of the airport under the two frameworks are analyzed, and the differences and compatibility are summarized.

Keywords: Rigid pavement; Airport; FAARFIELD method

引言

随着国际国内机场建设的加速发展,机场刚性道面的设计方法和思路不断变革。2009年,美国联邦航空局(FAA, Federal Aviation Administration)颁布《Airport Pavement Design and Evaluation》(AC-150-5320-6E),将三维有限元理论应用于机场跑道的结构层设计。次年,我国民航总局颁布MH/T 5004—2010《民用机场水泥混凝土道面设计规范》,在原有规范上做出补充和优化,在水泥混凝土道面板厚计算方法方面做出修正,同时考虑道面结构受疲劳荷载的影响,组合机型荷载下结合了疲劳叠加的效应,道面结构的确定更加合理,但为能突破传统力学范畴。

1 国内外设计方法发展综述

FAA的刚性道面设计方法主要有:6D法、LED-FAA法和FAARFILD法。前两种属于力学经验法范畴:6D法采用薄板理论;LEDFAA法应用弹性层状理论;随着有限元理论的实际应用不断加深,FAARFILD法应运而生。

我国民用机场道面设计方法的主要力学原理大致为:基于Winkler地基板理论;弹性地基板理论。早期由民航局颁布MHJ5004—95《民用航空运输机场水泥混凝土道面设计规范》,道面设计参照设计机型影响图,通过对组合机型航空量换算进行标准化计算。2010年颁布的新规范中,单一飞机荷载作用的板厚确定方法有了较大变化,同时融入疲劳叠加效应,在组合飞机运行下的道面疲劳也被考虑在道面设计过程中。

经研究验证计算,我国早期发布的道面设计方法与FAA的6D法相似,2010年民航局发布新版规范的道面设计方法在结果上与LEDFAA法相差很小。尽管如此,三维有限元方法已在FAA采用多年,而目前我国的道面设计还未进行相应的理论技术革新,国内外机场道面设计方法比较对比的研究还不多。

2 机场刚性道面计算方法比较

2.1 计算条件选择和设定

设计机型选择我国典型机型:波音和B737—800和空客A321;选择设计年限内飞机年平均起飞架次分别为2000、8000、30000(相应年运行架次为4000、16000、60000)次,代表不同程度的交通量。

表 2.1 单一飞机机型参数

机型	最大起飞重量/kN	最大滑行重量/kN	主起落架荷载分配系数 P	主起落架轮胎压力 q /MPa	年起飞架次/次	年运行架次/次
B737—800	790.04	792.60	0.950	1.47	2 000	4 000
					8 000	16 000
					30 000	60 000
A321	830.00	834.00	0.956	1.36	2 000	4 000
					8 000	16 000
					30 000	60 000

为了设计交通量更符合实际运营情况,拟定两种综合飞机计算条件。

A组飞机组合参数:

机型	最大起飞重量/kN	最大滑行重量/kN	主起落架荷载分配系数 P	主起落架轮胎压力 q /MPa	年起飞架次/次	年运行架次/次
B737—800	790.04	792.04	0.950	1.47	5 000	10 000
A321	830.00	834.00	0.956	1.36	3 600	7 200
B737—700	701.00	703.30	0.950	1.39	2 000	4 000
A330—300	2 330.00	2 339.00	0.958	1.42	2 000	4 000
B737—300	564.72	566.99	0.950	1.40	1 500	3 000
B747—400	3 968.93	3 978.00	0.952	1.38	1 000	2 000
B767—300	1 587.50	1 596.50	0.950	1.38	800	1 600
B767—200	1 428.82	1 437.89	0.950	1.24	500	1 000
A340—300	2 750.00	2 759.00	0.802	1.42	360	720
A340—600	3 680.00	3 692.00	0.660	1.42	240	480

B 组飞机组合参数:

机型	最大起飞重量/kN	最大滑行重量/kN	主起落架荷载分配系数 P	主起落架轮胎压力 q/MPa	年起飞架次/次	年运行架次/次
A320	770.00	774.00	0.950	1.14	4 000	8 000
A319-100	700.00	704.00	0.926	0.89	4 000	8 000
A330-200	2 330.00	2 339.00	0.950	1.42	3 500	7 000
B757-200	1 156.50	1 161.00	0.950	1.21	1 000	2 000
A321	830.00	834.00	0.956	1.36	3 500	7 000
A330-300	2 330.00	2 339.00	0.958	1.42	800	1 600
B767-300ER	1 868.80	1 873.34	0.950	1.38	720	1 440
B737-300	564.72	566.99	0.950	1.40	2 000	4 000
B767-300	1 587.50	1 596.50	0.950	1.38	280	560
MD-11	2 859.88	2 871.22	0.780	1.38	200	400

2.2 结构层组合设计

首先确定相关设计参数:

单一飞机类型荷载情况, 依据我国和 FAA 的相关设计规范, 并结合各种工程设计实例, 机场水泥混凝土道面的设计年限为 30 年; 地基反应模量 $k=70\text{MN}/\text{m}^3$; 另外, 由于我国刚性道面设计计算方法与美国 FAA 机场道面设计的差异, 地基弹性模量换算方法不同, 本文将依据 FAARFIELD 方法中的 k 值换算公式确定 E 为 223.74MPa 。初始假定基层的组合类型为: 下基层为 150mm 厚石灰粉煤灰粒料; 上基层分三组为 150、200、250mm 厚贫混凝土以作为对比; 选定面层设计强度 f_{cm} 对应为: 5.00、5.25、5.50MPa; 泊松比取值 $\nu=0.15$ 。

多种飞机组合荷载的相关设计参数:

道面设计年限假定为 30 年, 面层水泥混凝土设计强度 f_{cm} 拟定为 5.00MPa, 泊松比取值 $\nu=0.15$ 。

A 组机型组合, 拟定机场地基反应模量 $K=65\text{MN}/\text{m}^3$ 。上基层为 200mm 厚水泥稳定碎石; 下基层为 150mm 厚石灰粉煤灰粒料。

B 组机型组合, 拟定机场地基反应模量 $K=55\text{MN}/\text{m}^3$ 。上基层为 150mm 厚贫混凝土; 下基层为 150mm 厚石灰粉煤灰粒料。

2.3 混凝土面层厚度计算

分别采用我国现行规范设计方法和 FAA 的 FAARFIELD 三维有限元设计程序进行机场水泥混凝土道面面层厚度计算, 记录两种方法计算所得道面面层厚度差值。在单一飞机荷载条件下, 对 B737-800 机型和 A321 机型的面层厚度进行比较计算, 得出计算结果如下; 在两种不同组合飞机荷载情况下, 机场道面面层厚度的计算结果如下表。

上下基层厚度/mm	面层设计强度 f_{cm}/MPa	年起飞架次/次	面层设计厚度/mm					
			B737-800			A321		
			力学经验法	FAARFIELD 法	厚度差值	力学经验法	FAARFIELD 法	厚度差值
上基层 150, 下基层 150	5.0	2 000	365.0	328.6	36.4	373.0	335.5	37.5
		8 000	385.0	353.4	31.6	394.0	360.5	33.5
		30 000	402.0	375.7	26.3	410.0	382.9	27.1
	5.25	2 000	357.0	314.1	42.9	361.0	320.8	40.2
		8 000	378.0	338.6	39.4	380.0	345.5	34.5
		30 000	395.0	360.4	34.6	400.0	367.7	32.3
5.5	2 000	348.0	300.4	47.6	352.0	306.7	45.3	
	8 000	368.0	324.7	43.3	371.0	331.2	39.8	
	30 000	384.0	346.3	37.7	389.0	353.1	35.9	

上下基层 厚度/ mm	面层设 计强度 f_m /MPa	年起飞 架次/ 次	面层设计厚度/mm					
			B737-800			A321		
			力学经 验法	FAARFI ELD 法	厚度差值	力学经 验法	FAARFI ELD 法	厚度差值
上基层 200,下 基层 150	5.0	2 000	365.0	312.4	52.6	369.0	319.6	49.4
		8 000	382.0	338.8	43.2	389.0	346.3	42.7
		30 000	385.0	362.2	32.8	408.0	369.9	38.1
	5.25	2 000	355.0	296.6	58.4	360.0	303.5	56.5
		8 000	374.0	323.2	50.8	375.0	330.1	44.9
		30 000	390.0	346.5	43.5	393.0	354.0	39.0
		2 000	340.0	281.0	59.0	346.0	288.4	57.6
		8 000	360.0	307.9	52.1	363.0	315.0	48.0
		30 000	375.0	331.2	43.8	381.0	338.5	42.5
上基层 250,下 基层 150	5.0	2 000	362.0	290.7	71.3	367.0	298.8	68.2
		8 000	379.0	320.3	58.7	384.0	328.3	55.7
		30 000	392.0	345.9	46.1	401.0	353.9	47.1
	5.25	2 000	348.0	272.3	75.7	355.0	280.2	74.8
		8 000	371.0	302.8	68.2	373.0	310.5	62.5
		30 000	389.0	328.7	60.3	390.0	336.3	53.7
		2 000	335.0	253.9	81.1	341.0	262.2	78.8
		8 000	355.0	285.5	69.5	362.0	293.6	68.4
		30 000	374.0	311.8	62.2	380.0	319.8	60.2

A、B 组合飞机条件下的面层设计厚度

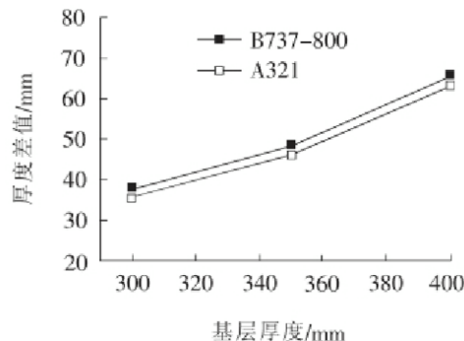
组别	力学经验法	FAARFIELD 法	厚度差值
A 组	407.0	359.5	47.5
B 组	408.0	379.9	28.1

2.4 面层设计比较分析

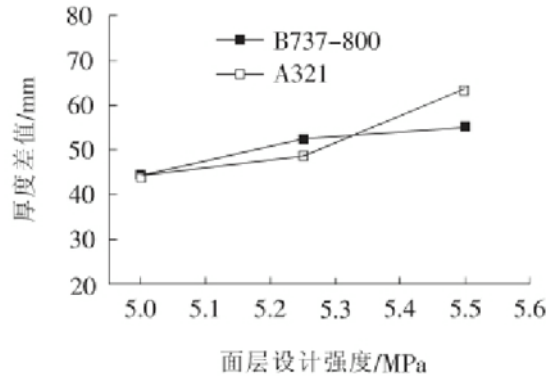
2.4.1 单一飞机条件下设计结果对比

计算结果如表中所示, 分别采用国内外两种面层计算方法, 两种机型在上基层厚度分组、面层砼强度分组、交通量分组中的面层厚度值有较大不同, 结论如下: 我国现行道面设计方法所得面层厚度比 FAARFIELD 法平均厚 49.7mm。对两种方法计算差值进行分析: B737-800 机型的面层厚度我国方法 FAA 较要厚 50.7mm, 最大差值 81.1mm; 我国规范计算所得 A321 机型的面层厚度平均比 FAA 厚 48.7mm, 最大差值为 78.8mm。

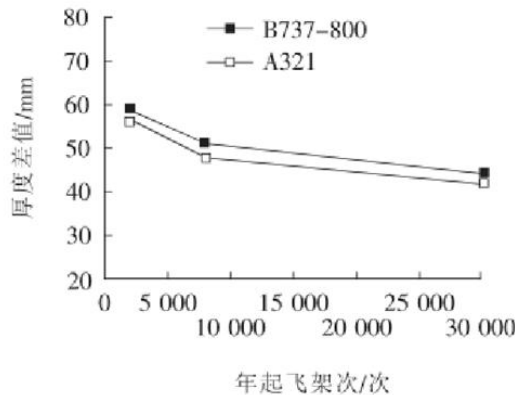
由上基层厚度分组计算数据可知: B737-800 机型的面层厚度差值: 37.8、48.5、65.9 mm; A321 机型的面层厚度差值: 36.2、46.5、63.3 mm。基层厚度约厚, 两种方法计算结果差异越大, 如图。



由面层设计强度分组计算数据可知, B737—800 机型的面层厚度差值: 44.3、52.6、55.1mm; A321 机型的面层厚度差值: 44.4、48.7、63.3mm。面层强度越强, 两种方法计算结果差异越大, 如图。



有交通量分组计算数据可知, B737—800 机型的面层厚度差值: 58.3、50.8、44.0mm; A321 机型的面层厚度差值: 56.5、47.8、41.8mm。飞机运行交通量越大, 两种方法计算结果差异越小。



2.4.2 多种飞机条件下设计结果对比

多种飞机组合情况下, 我国规范面层设计厚度都大于 FAA 方法计算结果。其中 A 组飞机条件下, 厚度差为 47.5mm, B 组飞机条件下厚度差为 28.1mm。

3 工程算例对比

3.1 马代机场道面水泥混凝土计算 (力学经验法)

1) 马尔代夫珊瑚湖尔易卜拉希纳西尔国际机场主要使用机型有 B737、B777、B747 等, 随着航空业务发展, 未来将有 A380 等 F 类飞机进行起降。本次道面设计以 C、E、F 类飞机为主要考虑机型, 其中 C 类飞机以 B737-800 为设计代表机型, E 类飞机以 B777-300ER 为设计代表机型, F 类飞机以 A380-800 为设计代表机型。

2) 设计代表机型参数

B737-800

设计机型计算重量: $G=792.6\text{kN}$;
 轮胎充气压力: $q=1.47\text{Mpa}$;
 主起落架荷载分配系数 $p=0.95$
 主起落架构型: 个数 $N_c=2$ 轮数 $N_w=2$
 主起落架轮间距: 横向: 86cm

B777-300ER

设计机型计算重量: $G=3411\text{kN}$;
 轮胎充气压力: $q=1.50\text{Mpa}$;
 主起落架荷载分配系数 $p=0.936$
 主起落架构型: 个数 $N_c=2$ 轮数 $N_w=6$

主起落架轮间距: 横向: 140cm; 纵向: 145cm/148cm
 A380-800
 设计机型计算重量: $G=5620\text{kN}$;
 轮胎充气压力: $q=1.47\text{Mpa}$;
 主起落架荷载分配系数 $p=0.57$
 主起落架构型: 个数 $N_c=2$ 轮数 $N_w=6$
 主起落架轮间距: 横向: 153cm; 纵向: 170cm/170cm

3) 机场预测数据

设计使用年限 $t=30$ 年

设计年限内该飞机年平均运行次数 N_s :

飞机类型	C	E	F
机型	B737-800	B777-300ER	A380-800
设计年限内飞机年平均运行次数 N_s	86065	29370	1675

4) 水泥混凝土道面参数

混凝土设计强度 $f_{cm}=5.0\text{Mpa}$
 水泥混凝土抗折弹性模量 $E_c=37000\text{Mpa}$
 水泥混凝土泊松比 $\mu_c=0.15$
 基层顶面反应模量 $k_j=100\text{MN/m}^3$
 道面结构组合设计
 面层: 水泥混凝土道面 45cm;
 基层: 水泥稳定碎石 15cm;
 垫层: 砂土垫层 30cm。

3.1.1 道面计算

(1) B737-800

1) 飞机主起落架上的轮载

$$P_t = \frac{Gp}{n_c n_w} = \frac{792.6 \times 0.95}{2 \times 2} = 188.24\text{kN}$$

$$L_t = \sqrt{\frac{P_t \times 10^4}{5.227q}} = \sqrt{\frac{188.24 \times 10^4}{5.227 \times 1.47}} = 494.96\text{mm}$$

$$W_t = 0.6L_t = 0.6 \times 494.96 = 296.98\text{mm}$$

2) 设计飞机轮印尺寸

3) 板厚计算

① 初估板厚 $h=450\text{mm}$

② 计算道面刚度半径

$$l_p = \sqrt[4]{\frac{E_c h^3 \times 10^3}{12(1-\mu_c^2)k_j}} = \sqrt[4]{\frac{37000 \times 450^3 \times 10^3}{12(1-0.15^2) \times 100}} = 1302.1\text{mm}$$

根据主起落架横纵向轮间距, 在板边弯矩影响图上按比例绘制主起落架轮印, 求出在轮印范围内的小格数之和 N_b 。

查影响图得 $N_b=471$

③ 求板边弯矩

$M_e = q l_p^2 N_b \times 10^{-10} = 1.47 \times 1191.99^2 \times 471 \times 10^{-10} = 0.1174\text{ (MN} \cdot \text{m/m)}$ ④ 求板边计算应力

$\sigma_e = 6M_e \times 10^6 / H_2 = 6 \times 0.1174 \times 10^6 / 400^2 = 3.478\text{MPa}$

$\sigma_p = (1-\beta)\sigma_e = (1-0.25) \times 3.478 = 2.609\text{MPa}$

4) 飞机的容许作用次数

$N_{e1} = 10^{(14.048-15.117(p/f_{cm}))} = 10^{(14.048-15.117 \times 2.609/5)} = 1449977$

5) 设计年限内飞机累计作用次数:

通行宽度 T 取 2.3m;

$$n_{e1} = \frac{0.75n_w W_t}{1000T} N_{st} = \frac{0.75 \times 2 \times 296.98}{1000 \times 2.3} \times 86065 \times 30 = 500076$$

故 $n_{e1}/N_{e1}=500076/1449977=0.3449$

(2) B777-300ER

1) 飞机主起落架上的轮载

$$P_t = \frac{Gp}{n_c n_w} = \frac{3411 \times 0.936}{2 \times 6} = 266.06 \text{ kN}$$

2) 设计飞机轮印尺寸

3) 板厚计算

① 初估板厚 $h=450\text{mm}$

② 计算道面刚度半径

$$L_t = \sqrt{\frac{P_t \times 10^4}{5.227q}} = \sqrt{\frac{266.06 \times 10^4}{5.227 \times 1.5}} = 582.53 \text{ mm}$$

$$W_t = 0.6L_t = 0.6 \times 582.53 \text{ mm} = 349.52 \text{ mm}$$

$$I_p = \sqrt[4]{\frac{E_c h^3 \times 10^3}{12(1-\mu_c^2) k_j}} = \sqrt[4]{\frac{37000 \times 450^3 \times 10^3}{12(1-0.15^2) \times 100}} = 1302.1 \text{ mm}$$

根据主起落架横纵向轮间距,在板边弯矩影响图上按比例绘制主起落架轮印,求出在轮印范围内的小格数之和 N_b 。

查影响图得 $N_b=467$

③ 求板边弯矩

$$M_e = q l_p^2 N_b \times 10^{-10} = 1.48 \times 1191.99^2 \times 467 \times 10^{-10} = 0.1188 \text{ (MN. m/m)}$$

④ 求板边计算应力

$$\sigma_e = 6M_e \times 10^6 / H_2 = 6 \times 0.1188 \times 10^6 / 400^2 = 3.519 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = (1-\beta) \sigma_e = (1-0.25) \times 3.519 = 2.639 \text{ MPa}$$

4) 飞机的容许作用次数

$$N_{e2} = 10^{(14.048-15.117(p/fcm))} = 10^{(14.048-15.117 \times 2.2.639/5)} = 1171531$$

5) 设计年限内飞机累计作用次数:

通行宽度 T 取 2.3m;

$$n_{e2} = \frac{0.75n_w W_t}{1000T} N_{st} = \frac{0.75 \times 6 \times 349.52}{1000 \times 2.3} \times 29370 \times 30 = 602529$$

$n_{e2}/N_{e2}=602529/1171531=0.5143$

(3) A380-800

1) 飞机主起落架上的轮载

$$P_t = \frac{Gp}{n_c n_w} = \frac{5620 \times 0.57}{2 \times 6} = 266.95 \text{ kN}$$

2) 设计飞机轮印尺寸

$$L_t = \sqrt{\frac{P_t \times 10^4}{5.227q}} = \sqrt{\frac{266.95 \times 10^4}{5.227 \times 1.47}} = 589.43 \text{ mm}$$

$$W_t = 0.6L_t = 0.6 \times 589.43 = 353.66 \text{ mm}$$

3) 板厚计算

① 初估板厚 $h=450\text{mm}$

② 计算道面刚度半径

$$I_p = \sqrt[4]{\frac{E_c h^3 \times 10^3}{12(1-\mu_c^2) k_j}} = \sqrt[4]{\frac{37000 \times 450^3 \times 10^3}{12(1-0.15^2) \times 100}} = 1302.1 \text{ mm}$$

根据主起落架横纵向轮间距,在板边弯矩影响图上按比例绘制主起落架轮印,求出在轮印范围内的小格数之和 N_b 。

查影响图得 $N_b=461$

③求板边弯矩

$$M_e = q l_p^2 N_b \times 10^{-10} = 1.47 \times 1302.1^2 \times 461 \times 10^{-10} = 0.1024 \text{ (MN.m/m)}$$

④求板边计算应力

$$\sigma_e = 6M_e \times 10^6 / H_2 = 6 \times 0.1024 \times 10^6 / 450^2 = 3.404 \text{ MPa}$$

$$\sigma_p = (1-\beta)\sigma_e = (1-0.25) \times 3.404 = 2.553 \text{ MPa}$$

4) 飞机的容许作用次数

$$N_{e3} = 10^{(14.048-15.117(p/f_{cm}))} = 10^{(14.048-15.117 \times 2.553/5)} = 2132090$$

5) 设计年限内飞机累计作用次数:

通行宽度 T 取 2.3m;

$$n_{e4} = \frac{0.75 n_w W_t}{1000T} N_{st} = \frac{0.75 \times 6 \times 353.66}{1000 \times 2.3} \times 1675 \times 30 = 34770$$

$$n_{e2} / N_{e2} = 34770 / 14656436 = 0.0163$$

$$n_{e1} / N_{e1} + n_{e2} / N_{e2} + n_{e3} / N_{e3} = 0.3449 + 0.0163 + 0.0163 = 0.8755$$

$$0.8 \leq 0.8755 \leq 1.1$$

因此, 确定跑道平行滑行道及扩建站坪水泥混凝土面板采用 45cm 作为设计板厚。

3.2 马代机场 FAARFIELD 计算

1) 计算结果

结构层设计结果:

Pavement Structure Information by Layer, Top First

No.	Type	Thickness mm	Modulus MPa	Poisson's Ratio	Strength R, MPa
1	PCC Surface	425.5	27,579.03	0.15	5.00
2	Variable St (rigid)	150.0	2,200.00	0.20	0.00
3	P-301 SCB	300.0	1,723.69	0.20	0.00
4	Subgrade	0.0	127.24	0.40	0.00

道面结构层厚度: 875.5mm

2) 机型信息

Airplane Information

No.	Name	Gross Wt. tonnes	Annual Departures	% Annual Growth
1	ERJ-135	19.100	191	4.21
2	Dash 7	18.600	4,157	4.15
3	Dash 7	16.500	1,897	4.15
4	Dash 7	23.300	3,027	4.15
5	B737-800	79.243	4,036	4.15
6	A320-200 Twin opt	78.400	4,036	4.15
7	A321-200 opt	93.900	3,027	4.15
8	B777-200 ER	298.464	827	4.14
9	B777-300 ER	352.441	1,931	4.14
10	A330-300 opt	233.900	2,758	4.14
11	A340-300 opt	277.395	1,379	4.14
12	A340-300 opt Belly	277.395	1,379	4.14
13	A380	562.000	149	10.00
14	A380 Belly	562.000	149	10.00

No.	Name	CDF Contribution	CDF Max for Airplane	P/C Ratio
1	ERJ-135	0.00	0.00	5.19
2	Dash 7	0.00	0.00	4.52

3	Dash 7	0.00	0.00	4.52
4	Dash 7	0.00	0.00	4.52
5	B737-800	0.00	0.00	3.52
6	A320-200 Twin opt	0.00	0.00	3.67
7	A321-200 opt	0.00	0.00	3.42
8	B777-200 ER	0.00	0.00	4.05
9	B777-300 ER	0.98	0.98	3.87
10	A330-300 opt	0.00	0.00	1.89
11	A340-300 opt	0.01	0.01	1.81
12	A340-300 opt Belly	0.00	0.00	3.78
13	A380	0.00	0.00	3.82
14	A380 Belly	0.00	0.00	4.24

3) 地基压实度条件

非粘性土

NonCohesive Soil

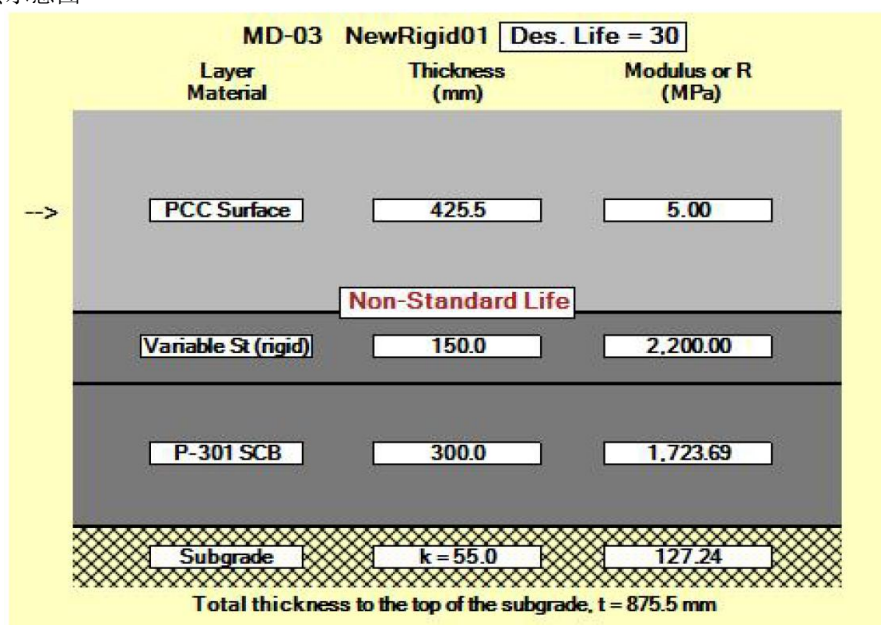
Percent Maximum Dry Density(%)	Depth of compaction from pavement surface (mm)	Depth of compaction from top of subgrade (mm)	Critical Airplane for Compaction
100	0 - 556	--	B777-300 ER
95	556 - 2417	0 - 1542	B777-300 ER
90	2417 - 4475	1542 - 3600	B777-300 ER

粘性土

Cohesive Soil

Percent Maximum Dry Density(%)	Depth of compaction from pavement surface (mm)	Depth of compaction from top of subgrade (mm)	Critical Airplane for Compaction
95	0 - 507	--	B777-300 ER
90	507 - 1512	0 - 636	B777-300 ER
85	1512 - 3052	636 - 2176	B777-300 ER
80	3052 - 4393	2176 - 3517	B777-300 ER

4) 道面结构层示意图



3.3 两种方法计算比较

按照国内现行的规范（力学经验法），设计计算过程中，参数的精确性受到了轮印图和板边弯矩图的限制，会有较大的误差，计算繁琐。FAARFIELD 软件计算过程则相对简便。

从计算结果上看，FAA 框架下的道面结构面层厚度还是小于力学经验法，一方面，计算面层厚度是一个不断假设、试算和验证的过程，由于国内规范计算过程中存在较多的误差引入，初始结构层的设定会相对保守。而 FAA 依靠有限理论和计算机的处理能力，将弹性层状体系理论中的假设条件转换成可计算模拟的三维体系，精确度有很大的提高。

两种方法在实际设计过程中，可以将 FAA 计算结果作为设计底线，在满足设计要求的情况下，尽可能实现设计的

经济性最大化。

4 结论

(1)我国规范采用的道面设计方法在面层厚度计算结论上均大于结合有限元的FAARFIELD法。单一飞机机型情况, 砼面层厚度相差 49.7mm, 多种飞机组合下, 面层厚度相差 37.8mm。由此可知, 我国现行的水泥混凝土道面厚度确定方法相对比较保守,

(2)在单一飞机机型情况中国内外两种道面厚度确定方法的差异, 与基层厚度、面层设计强度正相关; 与交通量负相关。

(3)我国砼道面设计方法多来源于力学经验理论, 计算过程繁琐, 人工通过轮印图对照板边弯矩影像图查格子数, 误差引入来源很多, 计算精度不够。因此建议我国在今后的道面设计中应用结合三维有限元等多种先进理论, 并推动计算机辅助设计程序的推广, 有效提高设计合理性。

[参考文献]

- [1]US Federal Aviation Administration Advisory Circular.AC 150/5320—6E Airport Pavement Design and Evaluation[S].Washington D.C:US Government Printing Office,2009.
- [2]谈至明,赵鸿铎,张兰芳.机场规划与设计[M].北京:人民交通出版社,2010.
- [3]许巍,王文杰,党明杰.国内外机场道面设计方法综合分析[J].机场工程,2010(4):13-20.
- [4]万希存.对民用机场和军用机场水泥混凝土道面设计规范的分析[J].中国民用航空,1996(10):49-51.
- [5]赵鸿铎,凌建明,周正峰.中美机场水泥混凝土道面设计方法对比分析[J].同济大学学报:自然科学版,2006(09):34.
- [6]王维.现行刚性道面计算方法的局限性及其改进[J].中国民航大学学报,2003,21(6):48-51.
- [7]李巧生,赵鸿铎,凌建明.适应大型特种飞机的机场水泥混凝土道面结构设计方法[J].土木工程学报,2011(1):121-126.
- [8]Expansion and Upgrading of Velana International Airport in Hulhule of Maldives.Aerodromes (Volume 1) - Pavement Response - Appendix.14[S].Cement Concrete Pavement Thickness Calculation.AVIC-CAPDI,2017.
- 作者简介:张睿(1992.12-),助理工程师,硕士研究生。