

简易机场土质跑道设计方法

谭 滔, 蔡良才, 刘晓军, 种小雷, 许 巍

(空军工程大学航空航天工程学院,陕西西安,710038)

摘要 针对简易机场土质跑道道面设计,采用 Boussinesq 单层理论和以及在已知深度最大弯沉等效原则来对多轮荷载进行当量单轮荷载 P_e 换算,假定土壤泊松比为 0.5,以加州承载比(CBR)作为面层、基层的强度指标,厚度计算采用美国陆军工程兵(COE)的经验公式。结合某型飞机的道面荷载特性,基于保障机型、覆盖作用次数和土壤强度等设计指标对土质跑道进行设计,最后通过实例分析,计算基层强度为 4、6、8、10,面层强度为 20、40、60、100,覆盖次数为 6、40、700、2 000 下的道面厚度。设计结果表明该方法简单可靠,可为今后土质跑道设计方法研究提供参考。

关键词 简易机场;土质跑道;设计方法;当量单轮荷载

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2012.06.003

中图分类号 V351.24 **文献标志码** A **文章编号** 1009-3516(2012)06-00011-04

简易跑道具有服务周期短,保障任务与保障机型相对固定等特点。土质跑道作为简易跑道的主要形式,可分为天然土跑道、加固土跑道和碎石土跑道。早在 20 世纪 40 年代,COE 就开始了基于 CBR 法的土质跑道设计理论研究,提出了土质跑道设计强度与厚度标准,绘制了确定面层所需最小 CBR 的诺谟图并建立了厚度设计经验公式^[1-3]。在土质跑道结构设计中,除了考虑面层和基层所需强度外,最主要考虑面层厚度。而设计厚度与飞机荷载、胎压、土壤 CBR 及设计覆盖次数密切相关。与美军相比,由于我国缺乏军事斗争与相关任务的需求,土质跑道设计方法研究起步较晚,仅进行过加固土和装配式跑道的试验研究,尚无成型的土质跑道设计理论与方法^[4-6]。本文通过引入 COE 设计理论和方法,并结合某型飞机进行实例分析,并对设计结果的适用性加以讨论,可为今后土质跑道设计方法进一步研究提供参考。

1 影响因素分析

1.1 保障机型

保障机型是土质跑道的荷载源。其最重要的特点是具备在土质跑道起飞和着陆的能力,一般具备多轮起落架、低胎压、发动机装配防尘罩以及增设反推着陆装置或阻力伞等,通常典型机型为运输机,如 C-130 和 C-17 等。土质跑道设计中涉及的飞机参数有起落架尺寸、胎压 q 、轮印面积 A 和半径 R 、主起落架单轮荷载 P_k 等。其中 P_k 通过公式(1)求得:

$$P_k = \frac{K_z G}{MN} \quad (1)$$

式中: K_z 为主起落架荷载分配系数; G 为飞机总重; M 为主起落架个数; N 为一个主起落架上的机轮数。

1.2 当量单轮荷载 P_e

当量单轮荷载是指在一定道面体系指定的位置上,单轮荷载产生的预选参量(应力、应变、弯沉或损坏)与多轮荷载在道面结构内同一位置产生的量相等^[7]。CBR 法最初建立在单轮荷载分析的基础上,对于多轮

收稿日期:2012-05-24

基金项目:陕西省交通厅科技计划资助项目(09-36R)

作者简介:谭滔(1988-),男,湖南长沙人,硕士生,主要从事机场工程研究。E-mail:wangzhexikuang@126.com

飞机荷载则采用简化计算,将多起落架多轮荷载转换为单轮荷载。

1.3 设计覆盖次数 C

覆盖次数决定了飞机荷载的交通分布、作用次数及频率。而设计覆盖次数与土质跑道保障任务类型及服务周期密切相关,美国陆军工程兵水道试验站(WES)将简易机场的保障任务分为攻击、紧急、补给和后勤4类^[8],分别对应不同的覆盖次数,见表1。

1.4 道面承载能力

CBR 表征材料抵抗局部荷载压入变形的能力,因此可以用以评定土壤的强度和道面承载能力。在飞机荷载一定的情况下, CBR 高的材料可承受荷载较大,作用次数多,所需道面厚度相对较薄。为防止飞机在表面产生过高的应力集中破坏以及在基层产生剪切和固结变形,面层必须具备较高的强度(CBR_c);而承受飞机的全部荷载与上部结构自重的基层必须密实、均匀、稳定且具备一定的基层强度(CBR_s)。

1.5 面层厚度 h

土质跑道的面层厚度对设计的影响十分重大。假定各层为均质弹性材料,面层和基层在水平方向及基层在竖直方向均无限延伸,则在道面承载能力一定的情况下,面层厚度越大,所能承受的覆盖次数越多,保障周期就越长。不过厚度过大增加施工周期,从而影响土质跑道战略作用的发挥。

2 设计方法与步骤

2.1 确定飞机参数

根据保障机型确定设计参数:包括确定关键轮胎(关键轮胎为在道面产生弯沉最大的胎),轮胎接地面积当量圆面积和半径 R ,各毗邻胎距关键轮胎的支距 r (即各毗邻胎到关键胎的中心距,以 R 的倍数表示)、胎压 q 、单轮荷载 P_k 。图1为某机型主起落架关键轮胎及支距示意图。

2.2 确定设计覆盖次数

首先确定土跑道所保障的任务类型,然后根据表1确定设计覆盖次数。

2.3 计算 P_e

土质跑道的 P_e 计算采用 Boussinesq 单层理论和土壤泊松比 $\mu=0.5$ 的假定以及在已知深度按最大垂直弯沉等效原则确定。即令多轮装置在厚度 h 的最大弯沉与 P_e 产生的弯沉相等,假定 P_e 的接触面积 A_e 与多轮中的一个轮胎的接触面积 A_k 相等(下标 e 为等效体系,下标 k 为实际体系),则总弯沉为:

$$\Delta = \sum_1^n \Delta = \frac{qR}{E} \sum_1^n F_i \quad (2)$$

式中: Δ 为总弯沉; Δ 为第 i 个单轮荷载在计算点的弯沉; F_i 为第 i 个单轮荷载在计算点的弯沉系数; E 为材料的弹性模量。 P_e 即为:

$$P_e = P_k \sum_1^n F_i / F_e \quad (3)$$

式中: P_e 为当量单轮荷载; P_k 为单轮荷载; F_e 为当量单轮荷载的弯沉系数, $F_e = F_{\max}$, F_i 、 F_e 可通过查弯沉系数曲线得到。

2.4 确定土质道面承载能力

基层 CBR_s 根据现场 CBR 试验测定基层 CBR,对于 CBR 较低的基层材料需要进行换填;土质跑道的面层一般为原位土或质量较好的材料经压实而成,为保障安全性与可靠性,面层 CBR_c 设计需满足 $CBR_c \geq CBR_{Cmin}$,式中 CBR_{Cmin} 可由 COE 制作的诺模图^[9]确定,见图2。

表1 任务类型与设计覆盖次数

任务分类	攻击	紧急	补给	后勤
服务周期	1天	2周	6个月	2年
设计覆盖次数	6	40	700	2000

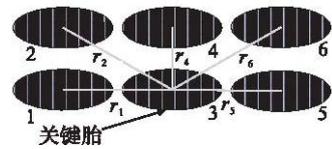


图1 某型飞机主起落架关键轮胎及支距
Fig.1 The critical tire and radii distance of C-17 aircraft gear configuration

2.5 计算面层所需厚度 h

根据 COE 经验公式^[10]计算土质跑道面层所需最小厚度,如式(5)所示:

$$\lg h = 0.636 24 \lg q + 0.214 84 \lg P + 0.239 37 \lg C - 0.402 81 \lg CBR_s - 0.314 04 \lg CBR_c - 2.371 28 \quad (4)$$

式中: h 为面层设计厚度(mm); q 为胎压(kPa); P 为厚度 h 处的当量单轮荷载(kg); C 为覆盖次数; CBR_s 为基层的平均强度(%); CBR_c 为面层平均强度(%)。

式(4)既可用于确定面层最小厚度,也可以预测一定面层厚度下的允许覆盖次数。通过经验公式试算 h' ,试算 h' 与假设 h_0 的误差小于 5 mm 时,则认为 $h' = h_0$,当不符合以上规定时继续迭代计算。

3 实例分析

针对某型飞机,进行土跑道设计实例分析,设计步骤如下:

- 1)确定飞机参数。胎压为 $q=539$ kPa, $A=197 197$ mm²,当量圆半径 $R=250.54$ mm,关键轮胎为轮胎 3,各轮胎至关键轮胎的支距为: $r_1 \sim r_6$,见表 2, $P_k=11 570$ kg。主起落架布局见图 1。
- 2)确定设计覆盖次数。覆盖次数取表 1 中的临界值:6、40、700、2 000。
- 3)计算 P_c ,见表 2。

表 2 某型飞机的 P_c 计算表

Tab.2 Computation table of ESWL

Z/R	$r_1/7.07R$	$r_2/6.59R$	$r_3/0$	$r_4/3.99R$	$r_5/7.07R$	$r_6/6.59R$	$\sum F_i$	F_c	P_c/kN
0	0.117 8	0.11	1.5	0.19	0.118	0.11	2.146	1.5	152.16
1	0.119	0.111	1.06	0.195	0.119	0.111	1.715	1.06	172.08
2	0.12	0.114	0.67	0.203	0.12	0.119	1.346	0.67	213.67
3	0.124	0.116	0.47	0.206	0.124	0.116	1.156	0.47	261.59
4	0.127	0.118	0.36	0.199	0.127	0.118	1.049	0.36	309.91
5	0.125	0.119	0.29	0.189	0.125	0.119	0.967	0.29	354.65
6	0.123	0.116	0.25	0.178	0.123	0.118	0.908	0.25	386.29
7	0.121	0.116	0.21	0.162	0.121	0.116	0.846	0.21	428.47
8	0.117	0.112	0.19	0.15	0.117	0.112	0.798	0.19	446.70
9	0.115	0.11	0.17	0.138	0.115	0.11	0.758	0.17	474.23

4)确定土质道面承载能力。天然土的 CBR 一般在 4~10 之间,经过压实之后 CBR 变化不大,故 CBR_s 取 4、6、8、10。通过诺模图确定面层最小 CBR_{cmin} 结果如表 3 所示,因此 CBR_c 可取值为 20、40、60、100。

5)通过式(4)计算得到土质跑道面层最小设计厚度,结果详见表 4。

表 3 不同覆盖次数水平下的面层最小 CBR 值要求

Tab.3 The minimum CBR requirement of cover layer on different coverages

C/次	6	40	700	2 000
$CBR_{cmin}/\%$	5	7	11	13
$CBR_c/\%$	20	40	60	100

表 4 土质跑道设计结果

Tab.4 Expedient pavement design results

$CBR_s/\%$	$CBR_c/\%$	C/次	h/mm
4	20	6	865
6	40	40	940
8	60	700	1 555
10	100	2 000	1 555

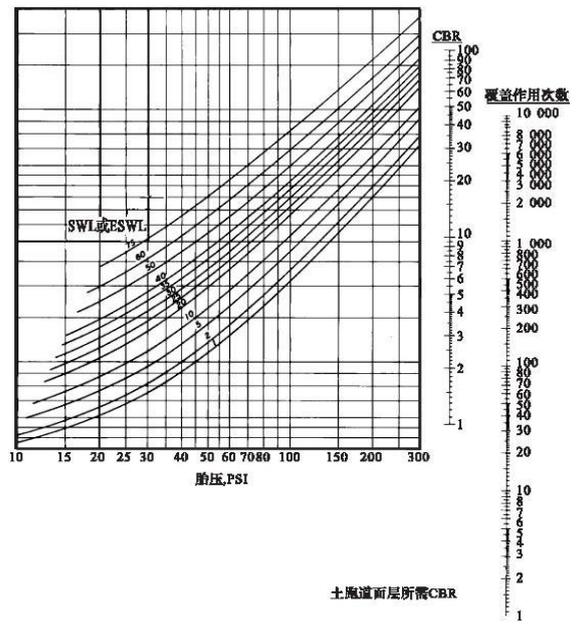


图 2 土质跑道面层 CBR 设计标准诺模图

Fig.2 CBR requirement of cover layer for operation of aircraft on unsurfaced soils runway

4 结论

本文运用 CBR 法对简易机场土质跑道进行设计,采用 Boussinesq 单层理论和以及在已知深度最大弯沉等效原则来对多轮荷载进行当量单轮荷载换算,假定土壤泊松比为 0.5,以加州承载比(CBR)作为面层、基层的强度指标,结合某型飞机道面荷载特性,进行简易机场土质跑道设计,得到 CBR_s 为 4、6、8、10,CBR_c 为 20、40、60、100,设计覆盖次数为 6、40、700、2 000 时的土质道面厚度 h 为 865,940,1 555,1 555(mm)。该方法计算过程简洁可靠,实现了对土质跑道在不同基层材料强度和覆盖作用次数道面强度与厚度设计。

参考文献(References):

- [1] Tucker Aaron A , Childress Christopher E, Poremski Robert J . Getting dirty-testing C-17 airfield performance in dirt and mud landing zones[R]. AIAA 2009-1712 .
- [2] Grau Robert W . C-5A operational utility evaluation soil tests and analysis[R]. US army engineer waterways experiment station , GL-81-7 .
- [3] Grogan William P . Aggregate surface requirements for C-17 aircraft operations[R]. US army engineer waterways experiment station , 1997 .
- [4] Anderton Gary L , Berney Ernest S IV , Mann Travis A , et al . Joint rapid airfield construction technology demonstration[R]. ERDC/GSL TR-08-17 .
- [5] 翁兴中,蔡良才.机场道面设计[M].北京:人民交通出版社,2007 .
WENG Xingzhong , CAI Liangcai . Airport pavement design[M]. Beijing : China communication press , 2007 .(in Chinese)
- [6] 许巍.野战机场道面快速开设关键技术研究[D].西安:长安大学,2009 .
XU Wei , Study on the key technologies of field airfield pavement rapid construction[D]. Xi'an : Chang'an university , 2009 .(in Chinese)
- [7] Yoder E J , Witczak M W . Principles of pavement design [M]. New York : John wiley and sons , 1975 .
- [8] Lynch V Janoo L , Horner D . US army corps of engineers experience with accelerated and full-scale pavement investigations[R]. US army engineer waterways experiment station , 1999 .
- [9] Ladd D M , Ulery , H H Jr . Aircraft ground-flotation investigation[R]. US army engineer waterways experiment station , AFFDL-TDR-66-43 .
- [10] Hammitt G M , Thickness requirements for unsurfaced roads and airfields bare base support project[R].US army engineer waterways experiment station , S-71-27 .

(编辑:徐敏)

Research on Design Method of Soil Expedient Airfield Runway

TAN Tao ,CAI Liang-cai ,LIU Xiao-jun ,CHONG Xiao-lei ,XU Wei

(Aeronautics and Astronautics Engineering College ,Air Force Engineering University ,Xi'an 710038 , China)

Abstract:Soil expedient runway usually is used in humanitarian succor,force projection,logistic sustainment and non-war military operations . Based on the summarization of soil expedient runway structure design criteria research of US Army corps of engineers , a design method based on support aircraft , coverage , and CBR is introduced in this paper . Finally , an example for the design is showed on $\times\times$ aircraft , the result is simple , reliable and of some important value for the future research of expedient soil runway .

Key words:expedient airfield ;soil runway ;design method ;equivalent single wheel load