

改进IRT在军用机场飞行区设施使用满意度调查中的可行性分析

陈奇奇¹, 王观虎¹, 徐吉朋², 张 健³, 张国权³, 邵 斌¹, 种小雷¹

(1. 空军工程大学航空工程学院, 西安, 710038; 2. 94899 部队, 福建 福清, 350300; 3. 94826 部队, 上海, 200000)

摘要 针对现有军用机场飞行区设施质量状况的测量手段费时费力, 关于机场各项设施布局合理性没有合理测量手段的问题, 引入满意度调查方法, 采用改进的项目反应理论(Item Response Theory, IRT)等级反应模型对机场飞行区设施使用满意度进行问卷设计, 填补了设施使用满意度调查问卷研究的空白。选取某军用机场作为案例, 以96个样本数据库为基础, 进行单维性检验和等级反应模型拟合检验, 构建基于IRT的飞行区设施使用满意度设计模型, 删减不符合要求的项目, 并对项目参数赋予了新的意义。在精简了指标的同时达到了调查目的, 也为下一步广泛调查以及调查题库完善打下了坚实的基础, 结果表明所提方法具有科学性与可行性。

关键词 飞行区设施; 满意度; 调查问卷设计; 改进项目反应理论; 等级反应模型

DOI 10.3969/j.issn.1009-3516.2020.01.016

中图分类号 V315 文献标志码 A 文章编号 1009-3516(2020)01-0099-07

An Application of IRT in the Investigation of Satisfaction for Airport Flight Area Facilities-Computer Engineering and Applications

CHEN Qiqi¹, WANG Guanhui¹, XU Jipeng², ZHANG Jian³, ZHANG Guoquan³, SHAO Bin¹, CHONG Xiaolei¹

(1. Aeronautics Engineering College, Air Force Engineering University, Xi'an 710038, China;

2. Unit 94899, Fuqing 350300, Fujian, China; 3. Unit 94826, Shanghai 200000, China)

Abstract Aimed at the problems that both the time-consuming and laborious measures are in existence for making a measurement on the quality of the existing military airport flight area, and there is no reasonable measurement method for the rationality of the airport facilities layout, an idea of satisfaction survey is introduced, and the improved item response theory(IRT)graded response model is adopted for airport flight. The questionnaire design of the facility satisfaction degree is used to fill the blank of the facility use satisfaction questionnaires. A certain military airport is selected as a case and 96 sample databases are used as the basis to conduct unidimensional test and grade response model fitting test. A flight area facility satisfaction design model based on IRT is constructed to delete the items that did not meet the requirements and endow with a new significance to the project parameters. At the same time, the target of the survey is achieved, and a solid foundation is laid for the next extensive survey and the improvement of the survey

收稿日期: 2019-10-07

作者简介: 陈奇奇(1996—), 男, 河南孟津人, 硕士生, 主要从事机场飞行区设施保障效能评估研究。E-mail: kgdcqq@163.com

通信作者: 王观虎(1980—), 男, 山东聊城人, 副教授, 博士, 主要从事机场规划设计研究。E-mail: kgdwgh@163.com

引用格式: 陈奇奇, 王观虎, 徐吉朋, 等. 改进IRT在军用机场飞行区设施使用满意度调查中的可行性分析[J]. 空军工程大学学报(自然科学版), 2020, 21(1): 99-105. CHEN Qiqi, WANG Guanhui, XU Jipeng, et al. An Application of IRT in the Investigation of Satisfaction for Airport Flight Area Facilities-Computer Engineering and Applications[J]. Journal of Air Force Engineering University (Natural Science Edition), 2020, 21(1): 99-105.

question bank. The results show that the proposed method is scientific and feasible.

Key words airports flight facilities; satisfaction; questionnaire design; item response theory; grade response model

军用机场飞行区设施一般包括跑道、土跑道、联络道、平地区、停机坪、滑行道、助航灯光、端保险道等,此外还有净空条件限制的设施,是飞机停放、滑行、维修、加油挂弹等所必需的基本场地和保障前提,飞行区设施保障效能就是飞行区内各项设施保障飞机正常完成各项活动尤其是各种飞行任务的可能性和时效性的度量^[1]。因此,设施保障效能不仅与飞行区设施的状态有关,与各个设施的保障能力以及设计布局合理性有关。现有的关于跑道平整度,跑道外观质量等状况的测量手段费时费力,同时关于机场各项设施布局合理性也没有一个有效测量手段去进行评估。

IRT 是在经典测验理论基础上发展而来的一种现代心理测量理论。近年来,国内学者罗照盛^[2]、许志勇^[3]、杜文久^[4]、杨业兵^[5]、涂冬波^[6-7]等在这方面进行了大量研究,但大多侧重于 IRT 基础理论及其在自适应测验、试题库建设、人格测验与标准化考试的应用等方面。将 IRT 应用于满意度调查的国内文献只有刘全的关于社情民意调查问卷设计^[8],而此文在进行记分时采用的仍是简单的 1、0 记分法,即满意记为 1 分,不满意记为 0 分,虽然文章提到问卷采用李克特 5 级记分法,但并没有给出 5 级记分和 2 级记分转换的原则与方法。国外学者 Quan N h、Zhao D Q、Jolai F 与 Gupta R 等利用非参数 IRT 开发工作角色功能问卷,测试了四因子和三因子模型并确定出有问题的项目^[9-12]。因此,本文在原有研究基础上采用 IRT 等级反应模型(Graded Response Model,简称 GRM),使得调查问卷设计及结果分析更加科学合理。

1 IRT 应用原理

作为经典模型,IRT 的大部分论断或命题的成立是建立在一定的假设前提基础之上,并由此逐渐演变发展而来,IRT 有如下 3 个基本假设:

1)潜在特质空间的单维性假设。所谓单维性,是指 IRT 假设只有一种潜在心理特质(如态度、看法等)对反应数据起作用,其他潜在特质均可忽略。对于机场飞行区设施使用满意度调查问卷来说,问卷各个项目测量均是飞行员对设施的主观态度。

2)局部独立性假设。局部独立性是指针对不同的调查者,在对任何一个题目作答所得到相应各自

态度的机率是独立不相关的,即影响被调查者作答态度的因素是唯一的,是问卷本身的潜在特质,当排除这个因素的影响后不同项目间的作答反应不会有任何关系^[13]。局部独立性有 2 个条件:一是题目之间不能存在内容相依或关联,二是被调查者不能抄袭。

3)项目特征曲线的假设^[14]。IRT 理论中分析并量化了被调查者的潜在心理特质和项目参数之间的数学表达关系,通过项目特征曲线来具体表示,其本质是被调查者通过选择不同选项的概率与潜在特质分数所对应的回归曲线。

1.1 基于 IRT 的机场飞行区设施使用满意度调查的原理

IRT 中的项目对于调查问卷来说就是问卷中的题目,因此,为了方便理解,下文中除专有名词外均用题目表示项目。机场飞行区设施是飞机进行各项活动所必需的基本场地和保障前提,飞行员通过驾驶飞机或者平时的观察体会等活动都会对飞行区设施有自己的心理认知或称态度量值。

假设飞行员在使用机场飞行区设施的过程中,对设施的使用满意度评价为 $\theta (-3 \leq \theta \leq 3)$ 。在任何时候,每一个被调查者(飞行员)都只会有一个态度量值 θ ,然而该 θ 值不可能立即知道,需通过一定的分析并计算得到。调查时,当我们把第 i 个调查题目呈现给被调查者时,将会诱发出被调查者的一个态度反应 R_i ,此时,被调查者对某题目的评价结果如何,关键取决于其潜在态度反应 R_i 是否大于某个等级参数 b_j 。例如:关于飞机跑道平整度的题目选项分为非常不满意、较不满意、一般、较满意、非常满意 5 个选项,对应的分值分别为 0,1,2,3,4。之所以将得分等级定为 0~4 而不是 1~5,是因为要和常规的能力测试相统一起来,以便后期数据分析方便。 $b_1 \sim b_4$ 分别是 4 个“难度”级别,其中 b_1 是“较不满意”的等级参数,其它依此类推,并且有 $b_1 < b_2 < b_3 < b_4$ (因为任何人得分在最低等级及其之上,所以不需要估计最低等级的等级参数),取值范围为 -3~3。此时被调查者的态度反应 R_i 在哪个等级区间范围内,则该被调查者选择相应选项的概率就会大于选择其他选项的概率。这种概率的关系用函数表现出来就是该选项的等级反应运算特征函数,相应的曲线图称为等级反应运算特征曲线。

本文采用多级反应模型来描述项目特征曲线

(Item Characteristic Curve, ICC), 多级记分模型应用最多的是由 Samejima 于 1969 年提出的 GRM。对于该模型, 其相应的反应函数实际形式为:

$$P_{ik}(\theta) = \frac{\exp[-Da_i(\theta - b_{ik+1})] - \exp[-Da_i(\theta - b_{ik})]}{\{1 + \exp[-Da_i(\theta - b_{ik})]\}\{1 + \exp[-Da_i(\theta - b_{ik+1})]\}} \quad (1)$$

式中: a_i 表示题目区分度, 对应特征曲线图中曲线拐点处切线斜率的绝对值; b_{ik} 表示第 i 个题目第 k 个得分等级的难度, 在特征曲线图中显示为相邻两个选项的特征曲线的交点; θ 为被调查者的态度量值; $P_{ik}(\theta)$ 表示态度量值为 θ 的被调查者在题目 i 上恰得第 k 等级分数的概率; D 为常数 1.7。

相应的 ICC 形式如图 1 所示。

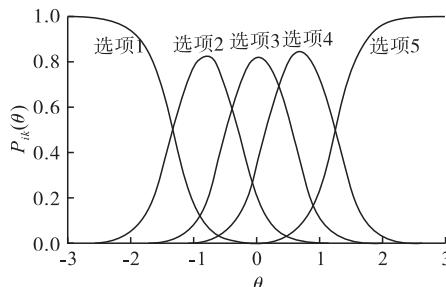


图 1 项目特征曲线示例

1.2 IRT 调查精度控制原理

测量误差是评价测验质量的主要指标, IRT 用信息量代替 CTT 中的信度的概念^[15]。信息量一般通过信息函数来计算, 信息函数是 IRT 中一个控制调查精度的参数, 它分为项目信息函数和测验信息函数, 项目信息函数通过一定规则的累加, 即可得到测验信息函数。IRT 中测量标准误差为测验信息函数在该特质水平上的值的平方根的倒数, 即为:

$$E_s(\theta) = 1 / \sqrt{\sum I_i(\theta)} \quad (2)$$

式中: $I_i(\theta)$ 为项目信息函数。

IRT 中把题目在评价被调查者特质水平时贡献的信息量大小关系定义如下:

$$I_i(\theta) = [p'_i(\theta)]^2 / p_i(\theta)(1 - p_i(\theta)) \quad (3)$$

式中: $p_i(\theta)$ 为第 i 个调查题目的反应函数; $p'_i(\theta)$ 为第 i 个调查题目反应函数的一阶导数。

则对于上文提到的 5 级反应模型, 每个题目在态度量值上的信息函数为:

$$I_i(\theta) = \sum_{k=1}^5 \frac{[p'_i(\theta)]^2}{p_i(\theta)(1 - p_i(\theta))} \quad (4)$$

由式(4)可知, 每个题目在态度量值上的信息函数可根据每一个态度量值 θ 得到被调查者的不同调查精度。信息函数图象呈多峰形, 在 θ 接近调查题目某个等级难度 b_{ik} 时达到最大。因此, 根据得到的不同态度量值, 决定出最利于提高估计精度的选项,

以使得相应调查能够得到预期的满意精度。

2 基于 IRT 的问卷设计过程

基于 IRT 的问卷调查设计主要程序为:①明确调查目的;②编制调查计划;③设计调查指标;④问卷整体设计;⑤试调查;⑥数据分析;⑦指标精简;⑧形成最终问卷。调查问卷设计程序中核心部分是⑥数据分析, 具体分为如下步骤:

1) 单维性检验。单维性检验通常选用主成分分析法, 通常来说第一主成分与第二主成分的特征根之比大于 5 即说明此假设成立。利用 SPSS 软件对所得数据进行处理分析, 得到因子碎石图, 然后提取出最具有代表性即第一因子与第二因子的特征根。

2) GRM 拟合检验。在测验单维性检验通过后, 可通过 IRT PRO 软件对 GRM 进行拟合度分析, 通过 RMSEA 指标判断所得评价模型是否拟合。RMSEA = 0 表示模型完全拟合, RMSEA < 0.05 表示模型拟合度较高, 证明模型的可靠性。

3) 参数估计与题目筛选。利用 IRT PRO 软件计算各题目的区分度参数 a_i 和等级(难度)参数 b_{ik} 的估计值, a_i 一般取在 0.5~4.0 之间, b_{ik} 在 -3.0~3.0 之间, 对结果中不符合要求的题目需要进行修改或删除。

4) 目标信息曲线的确定。根据预先所设定的调查精度, 通过计算 $E_s(\theta)$, 得到实际调查需要满足的最低信息量, 经过分析整合确定出目标信息曲线。

5) 确定最终调查问卷。通过问项选择可得到调查问项, 根据上述步骤所得到的信息曲线以最少的题目产生一条测验信息曲线, 等于或大于目标信息曲线。

3 实例验证

飞行区设施使用满意度问卷调查的目的是掌握飞行员对机场飞行区保障设施状态的满意度情况, 以便较为高效快捷地得到机场飞行区设施保障能力, 从而为决策部门提供辅助决策依据。

3.1 指标设计

指标的设计涉及到机场飞行区保障设施各方面, 包括设施的设计、布局合理性以及质量状况等方面, 我们设计的具体指标是否科学地反映调查目的, 就需要用到本文所提的 IRT 来处理。调查问卷包括:①被调查者基本情况如性别与飞行小时数等, 为填空题;②飞行员对飞行区设施满意度的评价, 选择题, 包括 31 个题目, 测评指标采用态度量化的 5

级李克特累加量表方法,即分别对 5 级态度“很不满意、不满意、一般、满意、很满意”赋予“0,1,2,3,4”的值,具体的题目指标见表 1;③问答题,以补充前 2 部分未涉及到的因素,使得问卷的设计更加合理可靠。

表 1 调查问卷指标

满意度分类	题目指标
设施质量状况满意度	跑道平整度
	跑道外观质量
	跑道制动性能
	跑道道面标识完整性
	跑道道面标识清晰度
	滑行道制动性能
	滑行道平整度
	平地区平整度
	土跑道平整度
	拦阻网状态
设施布局合理性满意度	端保险道表面状况
	助航灯光状况
	联络道(快速出口)位置
	联络道(快速出口)夹角
	停机坪位置
设施保障能力满意度	引道灯光布局
	洞库距三线合一停机坪距离
	跑道长度
	跑道宽度
	滑行道宽度
	停机坪宽度
	停机中心距
设施防护能力满意度	停机棚规格
	升降带内障碍物情况
预期差值满意度	滑行道两侧障碍物情况
	侧净空条件
	端近净空条件
	端远净空条件
	洞库隐蔽性
预期差值满意度	防护设施状态
	预期差值

3.2 试调查

为初步检验问卷设计尤其是指标设置的合理性,课题组前往某机场进行实地调研,发放并回收问卷 103 份,有效问卷 96 份,有效率 93.2%。在问卷发放之前,征得机场相关单位领导的同意和支持,向参与问卷调查的各位飞行员讲清楚此次调研的实际意义并保证收回的问卷只用于科学的研究,不作为评判机场设施好坏的标准,而且采取不记名的方式,从而消除被调查者的抵触情绪,同时在正式的场合发放问卷,保证测试过程和形式的正规化,在所有人作答完毕后将问卷收回,保证 100% 回收问卷。

3.3 单维性检验

为了检验本文所设计的问卷是否符合单维性假

设,本文采用 SPSS 软件对前期所调查的问卷数据进行分析,分析结果如表 2 和图 2 所示。

表 2 KMO 和 Bartlett 检验结果

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	0.831
近似卡方	2 584.623
Bartlett 的球形度检验	df 465
	Sig. 0.000

由表 2 可知 $KMO = 0.831$, 大于 0.5, Bartlett 球形检验的 P 值为 0.000, 小于 0.05, 2 项指标均满足要求, 说明本次所得问卷数据适合进行因子分析, 仍利用 Spss 软件对该问卷数据进行因子分析, 得到因子碎石图, 见图 2。

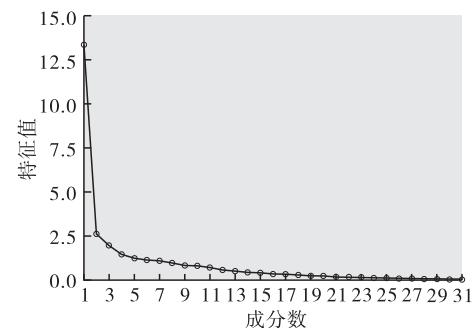


图 2 因子碎石图

由图 2 可知, 第一因子即贡献率最高的因子的特征根值为 13.380, 第二因子特征根为 2.636, 二者之比为 $5.076 > 5$, 说明单维性假设成立。

3.4 GRM 拟合检验和局部独立性检验

结合实际情况, 本文拟采用 IRTPRO 软件对 GRM 进行模型拟合检验^[15]。关于模型拟合检验的指标较多, 目前没有较为统一的标准, 通过对 IRT 基本原理与特点的分析, 拟采用 RMSEA 指标对模型拟合的好坏进行评判。RMSEA 指标表示所建立的模型与原数据的匹配度, 与拟合程度呈负相关, 通常来说, $RMSEA = 0$ 表示模型与数据完全匹配, 模型适应性达到最佳, < 0.05 表示模型拟合度较好, 在可接受范围内。经 IRTPRO 软件计算所得的 RMSEA 值为 0, 据此可认为调查问卷数据能够完全拟合 GRM, 具体结果如表 3 所示。

表 3 模型拟合检验参数

M_2	Degrees of freedom	Probability	RMSEA
985.32	200	0.000 1	0

3.5 参数估计与题目筛选

本文使用 IRTPRO 软件对问卷中题目数据进行参数估计, 得到各个指标的等级参数和区分度参数, 见表 4。

由表4可知,题目1、28、29、30的区分度 a 分别为4.76、0.05、0.44与5.18,均不符合0.5~4的要求,题目10、18、20、25~31的难度参数 b 不符合

-3~3的要求,这些题目指标应该予以修改或删除,但应修改还是删除需结合具体题目的信息曲线来确定,该11项的题目特征曲线见图3。

表4 题目参数估计值

编号	题目指标名称	a	b_1	b_2	b_3	b_4
1	跑道平整度	4.76	-2.14	-1.31	-0.46	0.74
2	跑道外观质量	3.17	-2.42	-1.54	0.17	1.82
3	跑道制动性能	3.48	-2.38	-1.48	0.01	1.75
4	跑道道面标识完整性	1.32	-2.50	-0.67	1.20	2.44
5	跑道道面标识清晰度	2.37	-2.00	-0.63	0.70	2.07
6	预期差值	2.75	-2.33	-1.56	0.63	1.39
7	跑道长度	2.68	-2.62	-1.20	-0.14	1.23
8	跑道宽度	1.79	-2.36	-0.97	0.69	2.19
9	滑行道宽度	1.58	-2.85	-1.07	0.50	2.14
10	滑行道制动性能	1.40	-3.22	-1.59	0.28	1.87
11	滑行道平整度	1.58	-2.60	-0.65	0.87	2.10
12	联络道(快速出口)位置	3.41	-2.17	-0.49	1.00	2.15
13	联络道(快速出口)夹角	1.68	-2.49	-0.21	1.14	2.28
14	停机坪位置	1.76	-2.13	-0.99	0.48	2.19
15	停机坪宽度	1.65	-2.41	-0.87	0.51	2.21
16	停机中心距	1.36	-2.61	-0.12	1.29	2.60
17	停机棚规格	1.71	-1.95	-0.41	1.03	2.20
18	引导灯光布局	1.32	-3.41	-1.10	0.62	2.34
19	助航灯光状况	2.25	-3.06	-1.76	-0.25	1.11
20	升降带内障碍物情况	0.99	-2.76	-1.14	0.77	3.51
21	滑行道两侧障碍物情况	1.74	-2.99	-1.63	0.29	1.73
22	侧净空条件	2.11	-1.63	-0.18	1.58	2.77
23	端近净空条件	1.62	-2.62	-0.96	0.64	2.11
24	端远净空条件	2.07	-2.65	-1.78	0.15	1.92
25	洞库隐蔽性	1.43	-4.14	-2.12	-0.37	1.11
26	洞库距三线合一停机坪距离	0.93	-3.32	-1.69	3.11	5.25
27	防护设施状态	1.26	-3.35	-2.03	-0.89	1.66
28	平地区平整度	0.05	-31.58	-10.28	38.47	72.27
29	土跑道平整度	0.44	-5.88	-2.45	5.94	8.88
30	拦阻网状态	5.18	-2.31	-1.24	-0.43	0.87
31	端保险道表面状况	1.24	-3.12	-1.14	0.98	3.61

由图3可知,题目26、28、29(即洞库距三线合一停机坪距离、平地区平整度与土跑道平整度)的特征曲线各项指标均不符合要求,而题目10、18、20、21、27、31(滑行道制动性能、引导灯光布局、升降带内障碍物情况、滑行道两侧障碍物情况、防护设施状态与端保险道表面状况)的特征曲线虽然较平缓,满足一定要求,但题目信息曲线显示各个指标的信息量太少。因此,本文将上述9个题目指标予以删除。指标1和指标30虽然区分度 a 较大,但能提供的信息量较多,所以,不予删除而是修改,通过修改表达方式达到减小区分度的目的。通过剔除所有不满足要求的题目指标后,最终问卷剩余22个指标。

3.6 目标信息曲线确定

心理测验通常为解决一定社会问题而产生的,测验用途不同,测验的具体目的也就有区别,对测量精度或者是测验鉴别力的实际要求也就不一样。根据测验目的提出具体的实际要求,就应设计测验信息曲线的种种目标状态。包括测验信息曲线的峰值点个数及出现的位置等相关参数,即整个曲线的形状及其分布情况。这种直接体现测验目的要求的测验信息曲线的目标状态,称为测验编制过程中的测验目标信息曲线^[16]。结合军用机场飞行区设施使用现状及特点,本文所设计问卷均是5级记分,相比于传统的0,1记分目标信息曲线的单峰曲

线,5 级记分的目标信息曲线应有 4 个峰值点位置,即每两个相邻等级之间有一个峰值点,每个峰值点所对应的 θ 轴上的点,是测验能提供出最大信息且测量误差最小的点,这个关系可从式(2)中得出,如

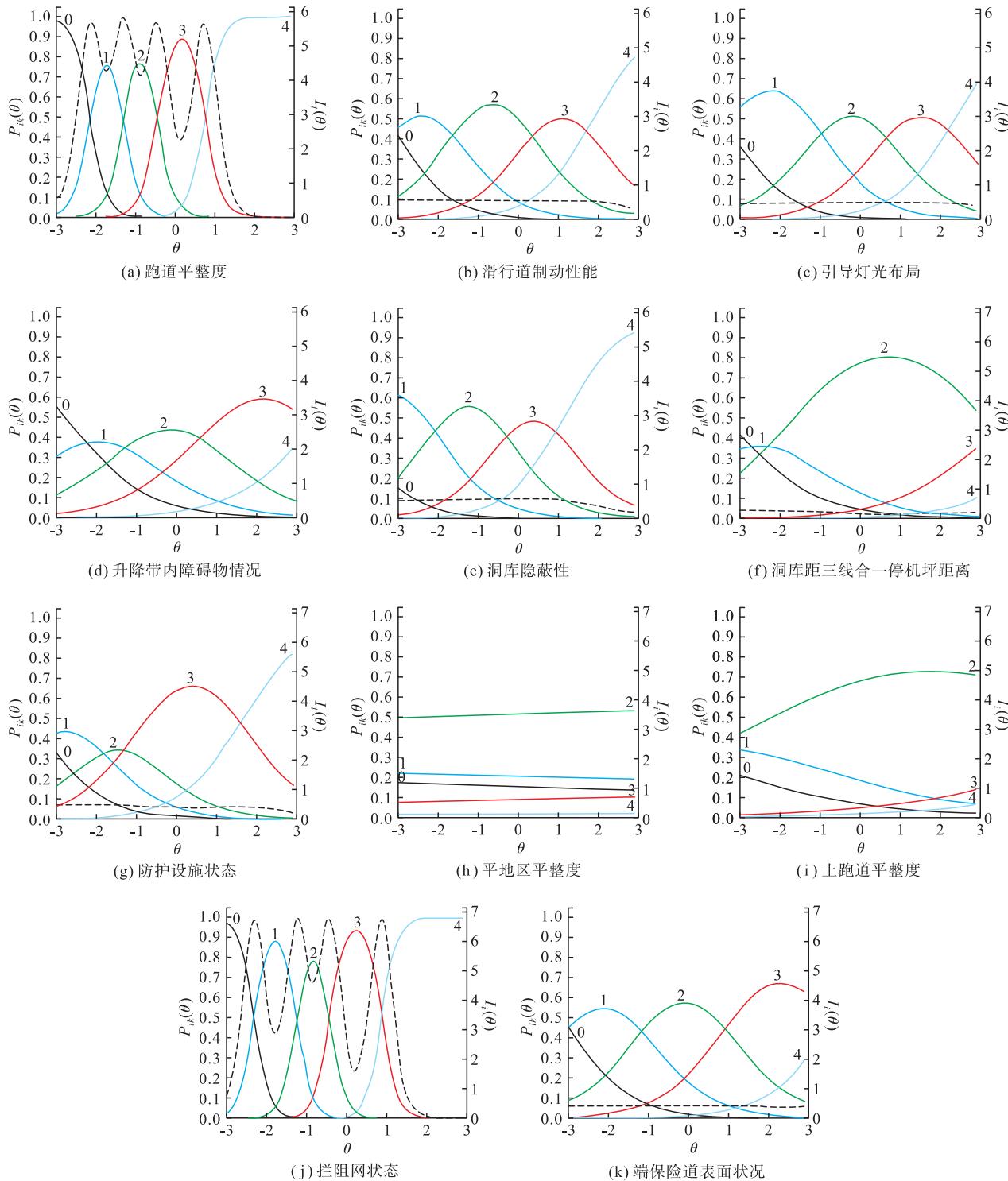
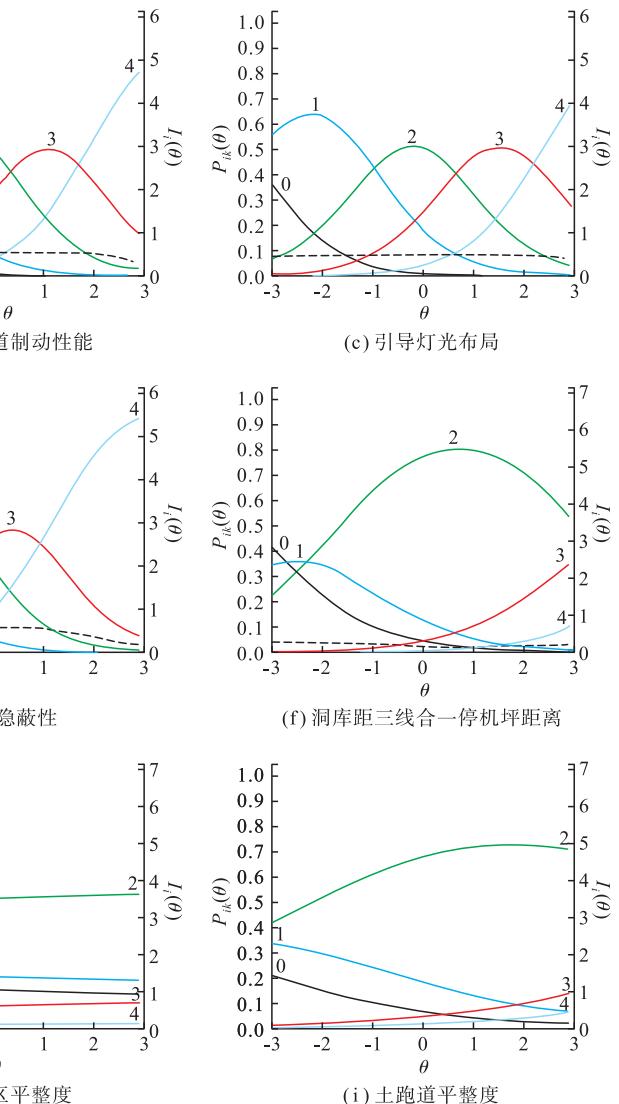


图 3 参数不符合要求的项目特征曲线(实线)及项目信息曲线(虚线)

通过前期预调查大致了解飞行员对机场飞行区设施的满意度评价,在此基础上确定目标信息曲线 4 个 θ 值点为 $-2, -1, 0, 1$,然后确定测量误差为 $E_s=0.2$,则信息量 $I(\theta)=1/E_s^2=25$,并且要求每个临界点鉴别能力同样大,则 4 个峰值点对应的高度

果这 4 个 θ 值点恰好代表了非常不满意与不满意,不满意与一般,一般与满意,满意与非常满意的态度量值的分界点,那么这一测验在不同等级划界点上就有最小的测量误差。



即信息量值均是 25,相应的测验信息曲线以及目标信息曲线见图 4。

图中细实线为测验信息曲线,粗实线为目标信息曲线,虚线为标准差曲线,与测验信息曲线相对应。从图中可以看出,测验信息曲线能够覆盖目标

信息曲线,即满足最低信息量要求,同时测验信息曲线和目标信息曲线相差不多,因此不考虑继续删减题目,至此问卷设计工作完毕。

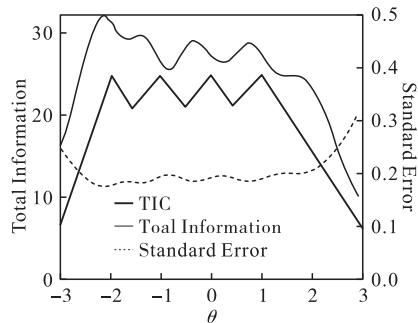


图4 测验信息曲线和目标信息曲线对比图

4 结语

1)本文研究表明该机场飞行员对滑行道制动性能、引导灯光布局、升降带内障碍物情况、平地区平整度、土跑道平整度、洞库隐蔽性、防护设施状态、洞库距三线合一停机坪距离与端保险道表面状况的态度量值差别较大,而且相应的题目提供的信息量也很少,说明飞行员对这些设施的状态或布局关注不多,不是影响他们对设施满意度评价好坏的重要因素。本项研究也存在一些局限性,这些数据来自某军用机场,在该地区以外的适用性还不确定。本文所设计的调查问卷也是因地而异,仅供参考,在实际应用时,需根据不同地区的特点作出相应调整。

2)本文仅研究了飞行员对机场飞行区设施的满意度问卷设计,而机场飞行区设施的使用者还有场务人员、机务人员等,不同的人群对设施的关注点不同,因而态度量值也不同,但是这些人群和飞行员的调查原理是一样的。因此,利用本文所提的设计方法同样可以得到其他人群关于机场飞行区设施使用满意度的态度量值。

3)关于满意度测量的计算机化自适应测验还没有相关研究成果。题目反应理论的发展趋势就是计算机化自适应测验编制,其测试形式就是由计算机自动从题库中选择合适的题目给被调查者作答,被调查者在作答完每一道题目之后,计算机会自动重新评估被调查者的态度量值,然后计算机根据被调查者当前的态度量值估计值,再选择最适合他当前态度量值的题目,继续进行测验,直至测验达到某个预先设定的终止规则为止。未来要建立数量足够多、涉及范围足够广的题库,以此达到计算机化自适应测验的目的,减轻研究人员工作量,同时提高测验效率和精度,而根据本文方法,可以逐步完善调查题库。

参考文献

- [1] 徐吉朋,蔡良才,王观虎,等.机场飞行区设施保障效能准确评估仿真[J].计算机仿真,2017,34(9):70-73.
- [2] 罗照盛.项目反应理论基础[M].北京:北京师范大学出版社,2012.
- [3] 许志勇,丁树良,钟君.高考数学试卷多维项目反应理论的分析及应用[J].心理学探新,2013,33(5):438-443.
- [4] 杜文久,肖涵敏.多维项目反应理论等级反应模型[J].心理学报,2012,44(10):1402-1407.
- [5] 杨业兵,苗丹民,田建全,等.应用项目反应理论对《中国士兵人格问卷》的项目分析[J].心理学报,2008(5):611-617.
- [6] 涂冬波,蔡艳,戴海琦,等.项目反应理论新进展:基于3PLM和GRM的混合模型[J].心理科学,2011,34(5):1189-1194.
- [7] 涂冬波,蔡艳,戴海琦,等.多维项目反应理论:参数估计及其在心理测验中的应用[J].心理学报,2011,43(11):1329-1340.
- [8] 刘全,刘汀.基于项目反应理论的社情民意调查问卷设计[J].统计与决策,2012(10):29-32.
- [9] QUAN N H,CONTU M F,BERBICHE D. Evaluating the Validity of the Work Role Functioning Questionnaire (Canadian French Version) Using Classical Test Theory and Item Response Theory. [J]. Work, 2017, 57(4):501-515.
- [10] ZHAO D Q,ARANHA C,KANO H. Solving Real-World Facility Layout Problems Using GA with Levy Flights and Multi-Decoding [C]//2017 18th IEEE/ACIS International Conference on Software Engineering, Artificial Intelligence, Networking and Parallel/Distributed Computing. [S. l.]: SNDP, 2017:333-338.
- [11] JOLAI F,TAVAKKOLI R,TAGHIPOUR M. A Multi-objective Particle Swarm Optimisation Algorithm for Unequal Sized Dynamic Facility Layout Problem with Pickup/Drop-off Locations[J]. International Journal of Production Research, 2012,50(15):4279-4293.
- [12] GUPTA R,VENKAIAH V. Airport Passengers: Their Needs and Satisfaction SCMS Journal of Indian Management, 2015,12(3):46-57.
- [13] 杜文久,谢荣华,李洪波.多维项目反应理论二级评分模型的参数估计[J].西南大学学报(自然科学版),2015,37(5):78-81.
- [14] 吴广,张运吉,张敬伟,等.项目反应理论指导下村民生活满意度调查问卷的设计[J].山东农业大学学报(自然科学版),2017,48(5):697-701.
- [15] 陈冠宇,熊碧莲,李霓,等.基于项目反应理论的公开招聘考试的最优题型选择[J].中国考试,2016(1):39-46.
- [16] 漆书青,戴海琦,丁树良.现代教育与心理测量学原理[M].北京:高等教育出版社,2002.

(编辑:姚树峰)