

文章编号 :1006 - 2106(2006)09 - 0060 - 05

电气化铁路与机场导航设施的电磁兼容^{*}

曾祥可^{**}

(铁道第二勘察设计院 , 成都 610031)

摘要 :研究目的 :电气化铁路对机场导航设施的电磁干扰影响 ,应执行国标 GB 6364 的相关标准。胶济电气化铁路与青岛流亭机场导航设施间的防护距离不能满足防护标准 ,采用技术可行经济合理的电磁兼容措施 ,避免铁路改线或机场搬迁。

研究方法 :通过理论分析 ,找出相互间电磁兼容的条件 ,并通过实测验证 ,为设计提供防护依据。

研究结果 :推荐“现状电化”方案 ,并提出备用方案和应急方案。在电气化铁路具备通电条件后 ,实施校验飞行和防护效果检测。

研究结论 :对不满足国标规定的导航设施 ,对无源干扰和有源干扰作理论分析 ,为设计提供理论根据。并通过现场实测和校验飞行 ,验证分析结论。满足常规电气化铁路常速运行的电磁防护标准 ,在高速铁路 200 km/h 条件下也同样能满足防护标准。

关键词 :干扰标准 ;防护方案 ;电磁兼容 ;实测 ;校飞

中图分类号 :U224.93 **文献标识码** :A

Electromagnetic Compatibility between Electrification Railway and Navigation Facilities

ZENG Xiang - Ke

(The Second Survey and Design Institute of China Railway , Chengdu , Sichuan 610031 , China)

Abstract :**Research purposes** : Electromagnetic interference of electrification railway to navigation facilities of airfield must be obeyed to GB 6364. The defending distance between Jiaoji electrification railway and navigation facilities of Qingdao Liuting airfield can not satisfy the defending standard. For avoiding relocating the railway line or the airfield , the electromagnetic compatibility measures should be researched in view of both economic and technical factor.

Research methods : Through theory analysis , the conditions of electromagnetic compatibility each other are found. And defending basis is provided for design through field testing and validation.

Research results : This paper recommended the scheme for “ Current Situation of Electrification ” . At the same time , this paper also proposed standby scheme and emergency scheme. In order to ensure flight safety , the checkout of aviation and the verification of defending effect should be implemented after electrification railway has the condition of power supply.

Research conclusions : Passive interference and active interference of navigation facilities , which can not satisfy national standards , are analyzed and the conclusions can provide the basis for design in theory. At the same time , the conclusions are verified through field testing and aviation checkout. The electromagnetic defending standards are satis-

* 收稿日期 2006 - 07 - 19

** 作者简介 : 曾祥可 , 1946 年出生 , 男 , 工程师。

fied both in conventional speed and in 200 km/h high-speed of the electrification railway.

Key words : interference standard ;defending scheme ;electromagnetic compatibility ;field testing ;aviation checkout

随着我国经济的发展,高铁和城际铁路进入机场航空港已成为一种趋势,电气化铁路与机场导航设施之间的电磁兼容问题将成为“铁路进机场”的制约因素。我院在胶济电气化铁路与青岛流亭机场导航设施间的电磁兼容问题上,作了一定的探索和研究,目前胶济电气化铁路已经开通,机场的导航设施已进行了现场飞行校验,并通过专家评估。现将本项目从预可研开始,到校验飞行的全过程进行总结,以供同行在机场电磁防护设计和实施上借鉴和参考。

1 情况简介

青岛流亭机场位于胶济铁路女姑口至城阳站间东侧,其机场主跑道与铁路基本平行,隔距约为250 m,跑道顶端与铁路有一夹角。在预可研时,流亭机场既有的下滑台、航向台和全向信标台均不能满足《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB 6364—86)中有关机场导航设施与电气化铁路的防护距离要求,为此,我院发函机场,提出要求机场在改建工程中,充分考虑电气化铁路的防护需求。机场已于2002年初完成跑道延长扩建工作,并根据机场导航需要,对既有导航设备作了部分迁建,原不能满足电气化铁路防护要求的下滑信标台GS和航向台天线LOC,通过改建后,已能满足《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB 6364—86)中的防护距离要求。

迁建后的全向信标台DVOR/DME位于主跑道东侧,与铁路的距离为260 m,不能满足“国标GB 6364—86”中5.71条和5.74条防护距离为360 m的要求。该台的位置偏离主跑道延长线5°(最大允许偏角),已经是对原设计作了修改,再改变位置非常困难,该台已于2002年年初建成投入使用。

2 电磁兼容设计

2.1 设计指导思想

在严格执行《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB 6364—86)的原则下,通过理论分析,找出机场导航设施与电气化铁路电磁兼容的最佳方案,避免铁路或机场搬迁,以现状电化最佳,其次为对受干扰的导航设施采用防护或屏蔽,或对受影响的导航设施整体搬迁。并对理论分析的结果,用试验检测验证。

2.2 电磁干扰影响分析

2.2.1 电气化铁路对机场导航设施的电磁干扰,分

为无源干扰影响和有源干扰影响2个方面;无源干扰主要指由于电气化铁路的轨道、接触网导线、接触网杆塔、列车及金属导线等对无线导航信号的二次辐射影响,有可能引起飞行航道的抖动、弯曲、偏移。有源干扰主要指列车在行进中,机车受电弓与接触网间产生的电火花对机载导航接收设备的干扰影响。地面的有源骚扰主要由电火花引起,电火花产生的电脉冲频谱很宽,其能量随频率由低到高,也呈现由强到弱分布。飞机在飞行和进场着陆过程中,机载导航接收设备,将同时接收到机场各种导航设施发出的信号和地面上的有源骚扰,信号场强与骚扰场强之差必须满足国标规定的防护率要求,才能保证有源干扰不影响机载导航设备的正常工作。

2.2.2 对无源干扰影响的分析

胶济铁路为既有铁路,本次电气化改造对铁路线路不作改动,只增加电气化接触网设施,与机场的相对位置不作改变。长期以来,铁路产生的无源干扰均未对机载导航设备造成影响,这可以从每年机场的定期例行校飞,均未发现无源干扰影响得到证明。胶济铁路电气化后,只增加了接触网,其接触导线的横截面与钢轨的横截面相差很大,所产生的二次幅射影响甚微。

2.2.3 对有源干扰影响的分析

《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB 6364—86)中4.2.4条、4.1.5条和5.6条,对下滑信标台、航向台天线和全向信标台均有“对其他各种有源干扰的防护率为20 dB”的要求。通过对相关资料进行分析对比,采用铁道部与空军联合实验组在阳安线城固机场得出的无线电骚扰特性公式(本公式在GB 6364的指导材料中直接引用),并根据《铁道学报》1999年第2期发表的“高速电气化铁道无线电噪声预测”的有关数据,按列车速度由80 km/h到160 km/h,其骚扰强度增加6 dB的修正量,得出频率特性:

$$E[\text{dB}\mu\text{V/m}] = 61.46 - 10.46 \log[f(\text{MHz})] + 6 \\ (f \geq 30 \text{ MHz})$$

$$E[\text{dB}\mu\text{V/m}] = 53.24 - 14.8 \log[f(\text{MHz})] + 6 \\ (f < 30 \text{ MHz})$$

以上公式是用于计算距铁道10 m处,时间概率为95%时的骚扰场强,流亭机场的防护,重点考虑骚扰向上部空间传播,由于电火花的频率较高,骚扰的传播衰减可以按自由空间传播模式计算:

$$EN = E - 20 \lg [h(m)] \quad \text{dB}\mu\text{V/m}$$

通过初步理论分析,以上 3 个导航台(站)均能满足电磁防护率为 20 dB 的要求。

2.3 初步设计的防护方案

2.3.1 推荐方案 现状电化

本方案实施的前提是全向信标台电磁干扰测试满足 20 dB 的防护率要求,全向信标台天线距地面高度为 5 m,电磁波是以天线顶部为准 0.5° 张角发射(圆锥面),能避开接触网的二次辐射。本方案不增加无源干扰影响,有源干扰影响也在国标容许值范围内。

优点:技术可行,不增加工程投资。

缺点:需征得机场方同意,并进行骚扰影响测试。

2.3.2 备用方案 全向信标台搬迁

本方案是在“现状电化”方案实施后,飞行校验结果,全向信标台不能满足防护率 20 dB 的标准而采用的备用方案。国标 GB 6364—86 中 5.2 条规定“机场全向信标台通常设置在机场内或跑道中心延长线上,距跑道端 360 ~ 11 000 m 之间。”根据这一规定,全向信标台搬迁在技术上是可行的。

方案优点:完全能满足国标中防护距离 360 m 的要求,投资费用较大(搬迁费用约为 600 万元)。

存在问题:迁建后的全向信标台远离机场,使用和维护都不方便,信标台 2002 年初刚投入使用,台址的选择通过民航总局批准,改变台址存在困难;机场方面不同意迁台。

2.3.3 应急方案 机车绝电运行

本方案是在“现状电化”方案实施后,飞行校验结果全向信标台不能满足防护率 20 dB 的标准,而新建全向信标台的建设工程期不能满足胶济电气化铁路开通时间要求而采用的应急方案。

机车在通过全向信标台处两端各约 250 m 处采用绝电运行。电力机车通过该地段时,司机将电力机车主断路器断开(降弓),使机车不取电流处于减速惰行状态,切除了弓网间产生电火花的电路,列车通过该地段后,合上主断路器(升弓),继续正常运行。

3 干扰影响测试

3.1 测试目的和内容

在初步设计阶段,通过理论分析,机场的下滑信标台、航向台天线和全向信标台均能满足电磁防护率为 20 dB 的要求。为确保现状电化方案能顺利实施,在电气化铁路施工前,对防护方案作进一步测试验证。我院与北方交通大学电磁兼容检测中心组成联合试验组,于 2002 年 7 月 15 日—7 月 22 日,在流亭机场空管站的配合下,对机场导航信号场强进行了测

试。测量内容包括下滑信标台、航向信标台和全向信标台的导航信号场强和背景噪声。

3.2 测试仪表及条件

CHASE 场强测量仪;

EMCO 3148 对数周期天线(用于 300 MHz 频段);

TR4132 对称振子(用于 100 MHz 频段);

带宽 25 kHz,平均值检波,水平极化。

3.3 测试方法

3.3.1 下滑信标台场强测试按南北两台分别进行。测试点位于发射天线水平方位角为 0° 和 8° 的铁道侧两射线上,依次距天线中心为 38.16 m、76.34 m、114.5 m、152.6 m。根据流亭机场飞机着陆时下滑角为 3° 的下滑线计算,这四个距离上测试天线高度分别对应 2 m、4 m、6 m 和 8 m。

3.3.2 航向信标台信号场强测试也按南、北两个台分别测试,且每台的测试包括 3 部分的内容:

在跑道入口端 0 m(跑道中心线处),西侧 105 m、东侧 105 m 设测点。测试天线高度为 1.5 m。该测点是流亭机场空管站对航向信标台维护的信号校准点。

在南北航向信标台西侧水平方位角 10° 射线上,分别距发射天线 100 m、200 m、300 m、400 m、500 m、600 m 处设测点,测试天线高度 6 m。

在与跑道平行的机场内道路上,从南入口端开始每隔 500 m 设置一个测试点,直至距离达 3 500 m 处为止。测试天线高度 4 m。

3.3.3 全向信标台信号场强测试,选择距离天线 100 m、150 m、200 m 共 3 个测试点。接收天线 8 m。

3.3.4 在信号场强测量的位置,将测试频率偏离信号频率,在信号频率附近进行了环境噪声测试。测试频率 118.5 MHz,环境噪声 11.8 dB。测试频率 329 MHz,环境噪声 18.3 dB。

4 测试结果预分析

4.1 无源干扰影响

胶济铁路电气化改造工程改造完成后,机场的下滑信标台、航向信标台、北中指台和南近指台均满足 GB 6364—86 所规定的场地保护区要求。可以认为:胶济电气化铁路所产生的无源干扰不会对以上导航设施产生不良影响。

全向信标台和测距台(两台合一)距离电气化铁路仅 260 m,不满足 GB 6364—86 所规定至少 360 m 的要求。胶济电气化铁路的无源干扰有可能会对全向信标台和测距台产生不良影响。

4.2 有源干扰影响

根据对流亭机场的下滑信标台、航向信标台以及

全向信标台的信号实测场强值,并在常速(60 ~ 80 km/h)电气化铁道无线电骚扰特性附加列车提速后 6 dB 骚扰增量的条件下,预分析电气化铁路运行后对流亭机场导航设施的有源干扰影响。结果见表 1。

表 1 流亭机场导航设施信号防护率预分析结果

台名	有源干扰防护率			防护距离		
	标准 B/dB	预分析 A/dB	差值 A - B	标准 /m	实际 /m	差别
北中指信标台	23	28.2	5.2	50 ~ 100 m 高度	200	满足标准
下滑信标台	20	42.9	22.9	120	173	满足标准
航向信标台	20	21.6	1.6	75	280	满足标准
全向信标台	20	29	9	360	260	不满足标准
测距台	8	>>8	>>8	360	260	不满足标准
NDB	15	22	7	150	600	满足标准

通过现场测试和分析可以看出,除全向信标台和测距台(两台合一)的防护距离不满足标准外,流亭机场所有导航设施均能满足有源干扰防护率和无源干扰防护距离的要求。

4.3 对测试和预分析结果的评审

我院于 2002 年 8 月 27 日在成都组织召开了“ 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告 ” 评审会,与会专家一致认为:“ 测试是按铁路和民航双方商定的试验方案进行的,预测报告中所采用的方法正确,数据可靠,建议可行。为确保流亭机场飞行安全,在电气化开通前进行校验飞行。校验飞行应在接触网不通电、通电无电力机车和通电有电力机车运行 3 种情况下进行。”

5 飞行校验

5.1 飞行校验实施方案

实施方案主要包括确定需要进行飞行校验的导航设备;飞行校验的内容;校飞条件(接触网无电、无机车、接触网有电无机车、接触网有电机车重载)以及飞行校验时间安排。

5.2 飞行校验组织机构

成立由铁路与民航共同组成的飞行校验领导小组和工作小组。确定校飞费用并签订校飞合同,优化校飞方案,决定在 2006 年 6 月初开展校飞试验。

5.3 校验飞行计划

针对仪表着陆系统和全向信标台的数据采集,分别制定原始状态下和列车重载下的数据采集飞行计划。共制定各 5 种校验飞行图,飞行高度 1 800 ~ 2 700 m,飞行半径 10 nm、17 nm 和 25 nm,按不同方式

校飞采样。重点对列车通过机场导航台附近 2 ~ 4 km 的数据进行采集。

5.4 应急保障计划

本次校飞属特殊校飞种类,具有一定的危险性,为此启动应急保障方案。

5.5 校飞

2006 年 6 月 5 日—16 日,在青岛流亭机场进行了飞行校验,校飞时间为每天 5 :00 ~ 8 :00(其中因故停飞 2 d)。校验对象为全向信标台、测距台和仪表着陆系统。测试条件为胶济铁路无电和加电加载 2 种情况。加电加载采用重载 4 000 t 列车,速度 80 km/h,牵引机车为韶山 4 改型,功率 6 400 kW。列车运行区间为娄山至即墨。通过 10 d 飞行校验,完成各项预定飞行科目,校验飞行机组通过初步判别,给出的校飞报告结论为:“ 校飞科目均为“ 合格 ”,机长评估结论均为“ 满意 ”。

6 飞行校验结果评估

飞行校验结束后,由济南铁路局建管中心组织,于 2006 年 6 月 17 日在济南召开了“ 飞行校验 ”评估会。与会专家对由民航飞行校验中心提交的飞行校验结果,即:《 全向信标、测距仪飞行校验临时报告表》、《 仪表着陆系统飞行校验临时报告表》,对照《 中华人民共和国民用航空行业标准飞行校验规则》和《 流亭机场飞行校验数据库》,进行了认真的研讨,达成如下评估意见:

6.1 本次飞行校验是按照 2002 年 8 月 27 日形成的“ 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告评审会纪要 ”的要求进行的,校验飞行方案是由中国民航青岛空管站提交,并经中国民航华东空管局批准。整个飞行校验基本是按飞行方案执行的,测试方法正确,数据可靠。

6.2 通过本次校验飞行的实测数据,验证了铁道第二勘察设计院和北方交通大学于 2002 年 8 月共同完成的“ 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告 ”的分析及预测结论是正确的。胶济电气化铁路不会对青岛流亭机场导航设施产生干扰影响。

飞行校验主要数据与规定标准对照见表 2。

6.3 关于胶济铁路开行 160 km/h 普通列车及 200 km/h 动车组的无线电干扰评估

飞行校验采用运行速度为 80 km/h 的重载列车;胶济铁路今后将开行 160 km/h 普通列车及 200 km/h 动车组,列车运行速度的增加,预测无线电干扰影响是否会随速度的增加而增加。

对于无源干扰而言,列车运行速度不会引起干扰

影响改变 ;而对有源干扰 ,将会随弓网间产生的电火花大小而变化。

胶济电气化铁路采用全补偿简单链式悬挂方式 ,接触线采用银铜合金导线 ,接触网的波动传播速度大于列车运行速度的 1.4 倍(铁科技[2006]68 号规定 , $C>1.4V$) ,离线率低于 4% ,弓网关系优于以往的电气化铁路。接触网与受电弓满足欧洲标准 EN 50367《弓网受流技术标准》的要求 ,同时符合部颁《200 ~ 250 km/h 客运专线站后系统技术框架方案》标准。相对以往电气化铁路 ,胶济电气化铁路降低了无线电噪声 ,根据京广铁路郑武电气化试验段的实测数据 ,200 km/h 的无线电噪声与以往线路 60 km/h 的无线电噪声相当。从本次实测值的对比表可见 ,实测的误差与标准相比 ,误差很小 ,余量较大 ;在加电加载的状态下 ,实测值与无电情况相差不大。

通过分析 :胶济铁路开行 160 km/h 普通列车和 200 km/h 动车组 ,均不会对机场导航设施产生有源干扰和无源干扰。

表 2 飞行校验主要数据与规定标准对照表

加电情况	飞行高度/ m	平均方位 误差	行业标准 (MH20003 -2000)	平均 距离 误差 n mile	行业标准 (MH20003 -2000) n mile
无电	1 800	0.04°	±2°	0.01	±0.2
	2 700	-0.02°	±2°	0.01	±0.2
加电 加载	1 800	-0.04°	±2°	0.02	±0.2
	2 700	-0.13°	±2°	0.02	±0.2

7 本项目的经济效益和指导意义

7.1 经济效益

本项目的工程估算和概算均为 860 万元 ,由测试、校飞和全向信标台整体搬迁共 3 部分费用组成 ,全向信标台的搬迁费用 ,参照该台的建筑安装费用 540 万元(竣工结算) ,加上搬迁后将增加线缆长度和防护 ,按 600 万元计列概算(估算)。通过校飞验收 ,全向信标台满足电磁干扰的防护要求 ,不作搬迁处理 ,节省工程投资 600 万元 ,经济效益是明显的。

7.2 本项目从预可研至飞行校验的成功实施 ,对今后机场与电气化铁路的电磁兼容防护设计 ,具有一定的指导意义

7.2.1 随着我国国民经济的发展 ,新建的机场和电气化铁路会越来越多 ,特别是各大城市电气化铁路直接接入机场 ,更是今后的一种发展趋势。机场的各种导航设施分布在机场周围 ,分布面积很广 ,各种导航

设施对电磁环境要求很高 ,这就给电气化铁路进入机场带来很大的障碍和困难。如何解决机场导航设施与电气化铁路间的电磁兼容 ,这将是今后需面对的一个重要课题 ,本次流亭机场的电磁防护 ,是很有意义的一种尝试。通过本项目的实施 ,可以总结出机场电磁防护从预可研到项目实施全过程的工作流程 ,另外 ,导航信号场强及环境背景噪声的实测值和校验飞行的数据 ,对今后处理同类问题有很好参考作用。

7.2.2 目前处理机场的电磁防护 ,采用的主要技术标准是《航空无线电导航台站电磁环境要求》(GB 6364—86) ,本标准是在 1986 年由空军与铁路共同制定的 ,在当时的技术条件下 ,本标准无疑是正确的 ,也适应当时的环境和要求。随着民航事业的发展 ,各种导航设施不断更新升级 ,功能更全面 ,性能更先进 ,对电磁影响的防护能力也得到很大的提高。在目前条件下执行该标准 ,很多地方就显得“ 防护过当 ” ,过度防护在技术上不必要 ,同时也会造成经济上的浪费。很多专家和相关人员都有修改本标准的建议 ,但短期内要完成修改工作是不现实的 ,而设计工作必须执行有关标准 ,如何解决两者间的关系 ,本项目的实施给出了一种很好的解决思路。对部分不能满足国标要求的导航设施 ,通过理论分析 ,确认其满足防护标准的设施 ,可采用实测校验的方式解决。

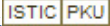
7.2.3 满足在常规电气化铁路上按常规运行(80 km/h)的电磁防护标准 ,在高速铁路 200 km/h 条件下也同样能满足防护标准。这为今后铁路提速改造提供了电磁防护依据。

7.2.4 本项目的实测数据、校飞结果和测试方法 ,对以后同类项目的设计和实施 ,提供了借鉴和参考。

参考文献 :

[1] GB 6364—86 航空无线电导航台站电磁环境要求[S]。
[2] 周克生 ,等. 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告[R] . 北京 :北方交通大学抗电磁干扰研究中心 2002。
[3] 张林昌 ,等.“ 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告 ”评审会纪要[Z] . 成都 :铁道第二勘察设计院 2002。
[4] 张林昌 ,陈建成 ,等.“ 胶济铁路电气化改造工程对青岛流亭机场导航设施无线电干扰飞行校验结果 ”专家评估意见[Z] . 济南 :济南铁路局建管中心 2006。
[5] 铁科技[2006]68 号文 200 ~ 250 km/h 客运专线站后系统技术框架方案[S]。

(编辑 慕成娟 王松兆)

作者: [曾祥可](#), [ZENG Xiang-Ke](#)
作者单位: [铁道第二勘察设计院, 成都, 610031](#)
刊名: [铁道工程学报](#) 
英文刊名: [JOURNAL OF RAILWAY ENGINEERING SOCIETY](#)
年, 卷(期): 2006(9)

参考文献(5条)

1. [GB 6364-1986. 航空无线电导航台站电磁环境要求](#)
2. [周克生. 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告](#) 2002
3. [张林昌. 胶济线电气化对青岛流亭机场导航设备影响预测报告](#) 2002
4. [张林昌;陈建成. “胶济铁路电气化改造工程对青岛流亭机场导航设施无线电干扰飞行校验结果”专家评估意见](#) 2006
5. [200~250 km/h客运专线站后系统技术框架方案. 铁科技\[2006\]68号文](#)

本文读者也读过(8条)

1. [赵新红. Zhao Xin-hong. GSM-R列车尾部安全防护系统的改进建议](#)[期刊论文]-[铁道运输与经济](#)2006, 28(4)
2. [刘雪锋. 输电线路对无线电干扰的实例分析及对策](#)[期刊论文]-[企业技术开发](#) (下半月) 2009, 28(7)
3. [惠贵兴. 通信机房电磁干扰防护方法和措施的研究](#)[会议论文]-2005
4. [王革. 漏泄同轴电缆在无线通信系统中的应用](#)[会议论文]-2009
5. [周晓穗. 数字微波通信系统的干扰防护](#)[期刊论文]-[西部广播电视](#)2004(6)
6. [白永雄. Bai Yongxiong. 电子产品调试与电磁干扰防护探索](#)[期刊论文]-[航天制造技术](#)2006(5)
7. [蔡阜平. CDMA基站选址工作中的干扰防护](#)[期刊论文]-[电信科学](#)2005, 21(12)
8. [朱永胜. 重载列车牵引电流对铁路通信、信号影响的分析](#)[学位论文]2005

引用本文格式: [曾祥可. ZENG Xiang-Ke. 电气化铁路与机场导航设施的电磁兼容](#)[期刊论文]-[铁道工程学报](#) 2006(9)