

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2020.24.019

青岛新机场飞行区消防管网优化设计

陈俊¹, 曹小丹², 史山峰³, 杜锡康¹

(1. 上海民航新时代机场设计研究院有限公司, 上海 200335; 2. 民航机场规划设计研究
总院有限公司, 北京 100101; 3. 青岛国际机场集团有限公司, 山东 青岛 266300)

摘要: 机场飞行区消防管网由于自身系统的庞大和特殊性,对安全性及渗漏率的要求远比市政管网更严格。在青岛新机场工程(总管长超过50 km)飞行区消防管网设计中,存在节点流量大及跑道消火栓出水量巨大、跑道消火栓最大布置间距可达200 m等难点,导致无匹配的计算方法,由此带来水力计算中设计节点水量及“容差”设置的争议。如沿用保守简单的枝状管网(即选择最远路径)对最不利点进行水力校核计算,其结果往往与实际偏差较大。参考美国联邦航空管理局(FAA)等的相关规定,采用容差简化管网系统及节点流量,拟合到传统有限元法平差,降低了管网压力及漏水概率,尤其使消防水泵扬程降低了25%,有效提高了飞行区消防给水系统的安全性,并节约了投资。

关键词: 飞行区消防; 水力计算; 容差简化; 平差分析

中图分类号: TU998.1 **文献标识码:** B **文章编号:** 1000-4602(2020)24-0104-05

Optimization Design of Fire Fighting Pipe Network in Aerodrome of Qingdao New Airport

CHEN Jun¹, CAO Xiao-dan², SHI Shan-feng³, DU Xi-kang¹

(1. CAAC New Era Airport Design & Research Institute Co. Ltd., Shanghai 200335, China;
2. China Airport Planning & Design Institute Co. Ltd., Beijing 100101, China; 3. Qingdao
International Airport Group Co. Ltd., Qingdao 266300, China)

Abstract: Due to the huge and special nature, the fire fighting pipe network in aerodrome is far more strict than the municipal water supply network in terms of safety and leakage rate. There are some difficulties in the design of fire fighting pipe network in aerodrome of Qingdao New Airport project (the main pipe length is more than 50 km), such as large node flow rate and huge water output of runway hydrant, and the maximum arrangement distance of runway hydrant can reach 200 m. These difficulties lead to the unmatched calculation methods, and thus bring controversy about the design node water quantity and “tolerance” settings in hydraulic calculation. Therefore, if we use the method of conservative and simple branch pipe network (selecting the farthest path) to carry out hydraulic check calculation for the most unfavorable point, the results often deviate greatly from the actual situation. According to the relevant regulations of the Federal Aviation Administration (FAA) of the United States, tolerance is used to simplify the pipe network system and node flow, and the adjustment is fitted to the traditional finite element method. As a result, the pipe network pressure and the probability of water leakage can effectively be reduced, and the fire pump head is reduced by 25%, effectively improves the safety of fire fighting pipe network in aerodrome, and saves the investment.

Key words: fire fighting in aerodrome; hydraulic calculation; tolerance simplification; adjustment analysis

1 工程概况

根据国家民航“十二五”规划,青岛新机场将成为面向日韩、具有门户功能的区域性枢纽机场,环渤海地区国际航空货运枢纽机场。机场飞行区消防管网由于自身系统的庞大和特殊性,对安全性及渗漏率的要求远比市政管网更严格。

根据预测,青岛新机场近期2025年旅客吞吐量将达到3 500万人次,远期2045年旅客吞吐量将达到5 500万人次。近期规划建设2条平行远距跑道,跑道长度为3 600 m,跑道间距为2 200 m;规划建设T1航站楼(五指廊,海星造型,见图1),建筑面积约 $48 \times 10^4 \text{ m}^2$;东飞行区按照飞行区技术指标4F类设计,西飞行区按照飞行区技术指标4E类设计。青岛新机场近期(2025年)平面布置见图2。



图1 T1航站楼效果图

Fig.1 Design sketch of T1 terminal

飞机火灾最显著的特点,即在很短的时间(5 min)内达到致命的强度($1\ 500 \sim 2\ 000\ ^\circ\text{C}$),同时可引发机身钛镁合金的猛烈燃烧和爆炸。

飞行区消防给水的作用是确保对机场救援和消防服务车辆迅速补充压力及流量充足的水源,以控制飞机关键区域(Practical Critical fire Area, PCA)的火情、维持及熄灭关键区域(PCA)及毗邻区域的余火,进而获得拯救机上生命的最大时间窗口^[1]。

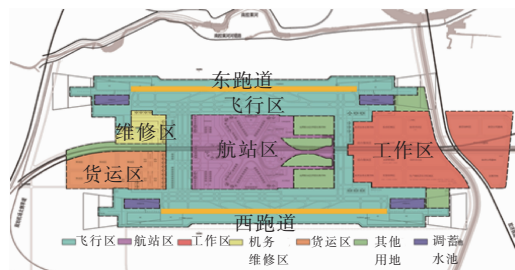


图2 青岛新机场近期(2025年)平面布置

Fig.2 Short-term (2025) layout of Qingdao New Airport

飞行区消防给水系统一般由站坪消防给水系统和跑道消防给水系统组成^[2]。

站坪消防给水系统通常沿站坪边线设置环状给水管网,结合站坪机位布置在给水管网上设置一定数量的站坪消火栓(单栓单井)。

跑道消防给水系统现行通常做法为,在跑道一侧(即跑滑之间)设置环状消防给水管网,同时结合跑道垂直联络道、快速滑行道等位置,在消防给水管网上设置一定数量的跑道消火栓(见图3)。跑道消火栓距离跑道中心线45~50 m,采用双栓双井或单栓单井型式。在跑道中间1/3地段,跑道消火栓按照间距 $\leq 200 \text{ m}$ 设置,在其余部位跑道消火栓按照间距 $\geq 120 \text{ m}$ 设置^[3]。

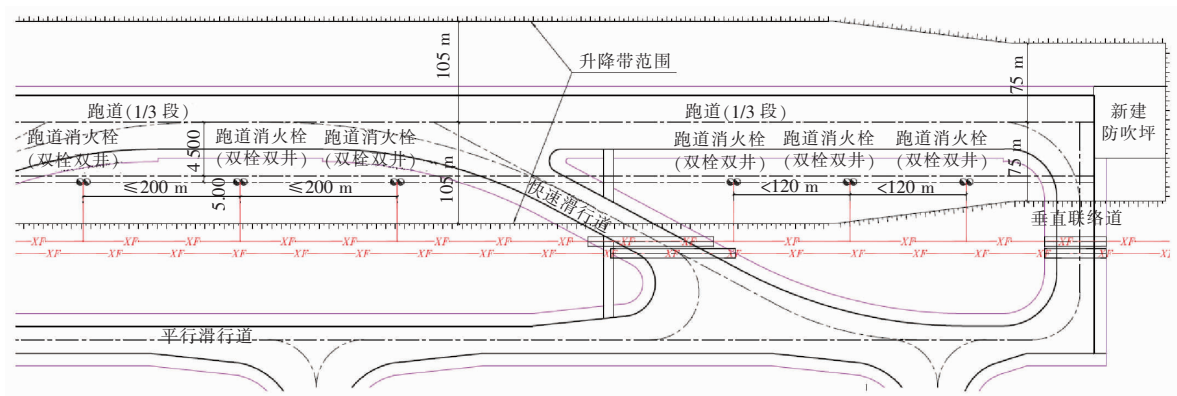


图3 跑道消防给水系统通常做法示意

Fig.3 General practice diagram of fire water supply pipeline in runway

青岛新机场在初设及施工图阶段,飞行区消防工程总投资约8 500万元。消防保障等级为9级,飞行区消防水量按150 L/s设计,由飞行区内专用

消防泵房及水池供水,敷设消防给水管线(主管管径DN300~400)约56.1 km(见图4)。飞行区消防给水管道投资在飞行区消防投资中占比约为60%。

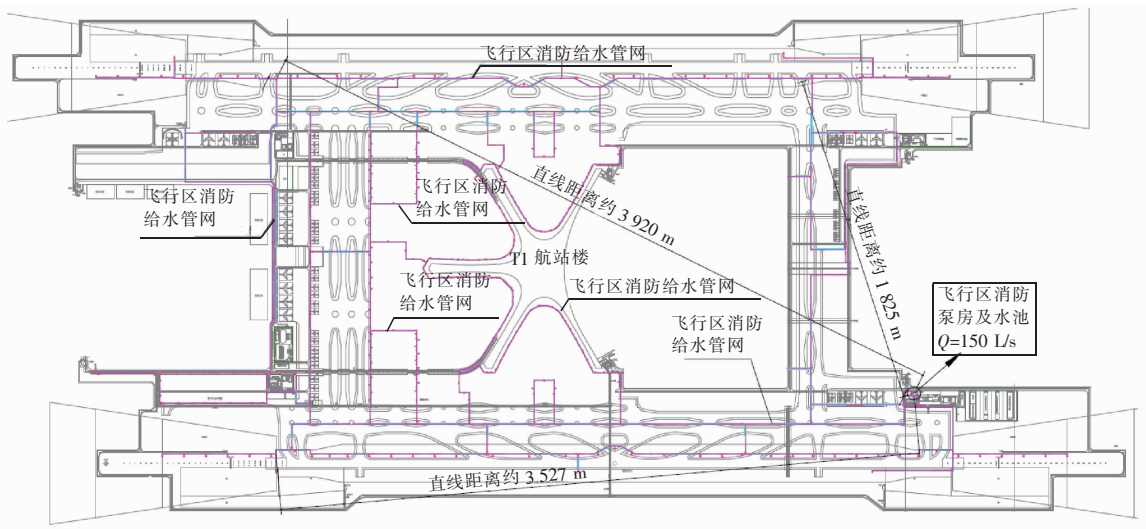


图4 青岛新机场飞行区消防给水管线平面布置

Fig. 4 Plane layout of fire water supply pipeline in aerodrome of Qingdao New Airport

2 设计难点

飞行区消防给水管道由于自身系统的庞大,对安全性及渗漏率有严格要求。由于地下管道的渗漏不易察觉,管道一旦长期渗漏则所造成的损失巨大,如导致飞行区土面区塌陷,跑道、滑行道或站坪开裂沉降、塌陷,甚至跑道报废停航。

即使可以进行抢修,也需要不停航施工,抢修难度大(只能在航班结束后的短暂夜间施工,无法按正常工艺抢修),成本昂贵;如当日无法抢修完成,即影响次日航班正常起降所需的消防保障能力。

影响给水管道渗漏的因素有很多,如管道的选材、接口、基础、软基处理、施工等。而在本工程中,由于机场防洪的需要,青岛新机场飞行区大部分为填方区,经地基处理(换填、冲击碾压、强夯等)后,压实度达到85%以上,地质情况良好;管道均采用200 mm厚的中粗砂垫层,完全可以满足飞行区消防管道敷设基础要求;采用行业内常规的钢塑复合(PSP类)管道,电熔套筒连接,施工情况良好。

因此,唯一能够在管道全寿命期(特别是运营期)对漏失水量进行控制的手段只有压力^[4]。

根据相关研究^[4],管道的漏失水量 L 与管道设计压力 P 呈指数关系:

$$L = P^N \quad (1)$$

式中 N ——经验指数,非金属管道为1.25~1.75

根据式(1),在经济管径和经济流速下,通过水力计算,优化管网设计,合理降低系统设计工作压力,可以降低管道漏失水量和漏水概率。

另外,《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)第10.1.9条对室外埋地消防管网的水力计算也提出了相应的要求。

飞行区消防管网的水力计算一般通过管网平差计算来完成。通过管网平差计算,可以为飞行区消防管网的合理规划设计和改造、扩建管网提供优化方案,并节能降漏,但在实际设计过程中,往往被设计人员所忽视或简化,主要有以下原因:

① 基于航空业务量预测技术的不足,导致相当多的机场短期内频繁改扩建;同时,随着新机型的不断研发和推出,导致机场的跑道不断延长,加上机坪扩建,由此带来近远期飞行区消防管网和水量的双重不确定。

② 由于飞行区消防管网只存在节点流量,按照市政观点,双栓双井的跑道消火栓出水量仅为20~30 L/s;而按照美国联邦航空管理局(FAA)及美国消防协会(NFPA)的相关规定^[5],双栓双井的跑道消火栓出水量可达100 L/s,甚至以上,国内机场大多按照出水量 ≥ 50 L/s使用;加之跑道消火栓最大布置间距可达200 m,无匹配的计算软件,由此带来水力计算中设计节点水量及“容差”设置(节点

流量合并简化)的争议。

故而在飞行区消防给水系统水力计算过程中,一直沿用较为保守且简单的枝状管网(即选择最远路径)对最不利点进行水力校核计算。

但笔者认为,基于飞行区消防给水系统的庞大(本案例中总管长超过 50 km),在飞行区消防给水设计中,应严格执行 GB 50974—2014 第 10.1.9 条。通过对飞行区消防给水管网的水力计算,合理设计其管网工作压力及消防水泵扬程,不仅可以降低管网漏损量,更可以大大降低漏水概率,有效提高飞行区消防给水系统的安全性。

3 工况选择与平差分析

本次设计中管网水力计算,拟采用传统哈代-克罗斯法(结合有限元法),同时参考 FAA 规定结合容差简化法,进行平差计算。

参考 FAA 的相关规定,本次设计单栓单井的跑道消火栓按照出水量≥50 L/s 计算(压力≥0.30

MPa),最不利点按 3 组跑道消火栓进行容差简化(事故工况 2 时,最不利点容差简化管段长度 757.5 m),先对管网进行简化,获得计算简图。为获得精确计算结果,共设 15 个环网,见图 5。

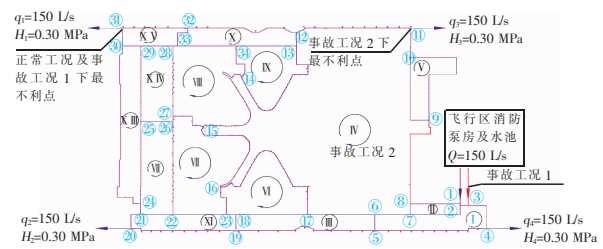


图 5 飞行区消防给水管线水力计算简化图
Fig. 5 Hydraulic calculation simplified sketch of fire water supply pipeline in aerodrome

按照界限流量表进行初始赋值。同时根据 GB 50974—2014 第 10.1.9 条,对图 5 按照正常工况和事故工况进行计算,见表 1。

表 1 飞行区消防给水管线水力计算工况

Tab. 1 Hydraulic calculation of fire water supply pipeline under different working conditions in aerodrome

工况	消防用水量/ (L · s ⁻¹)	最不利点	节点最小压力/ MPa	事故管段	备 注
正常工况	150	节点 31	0.30	无	与消防泵房直线 距离约 3 920 m
事故工况 1	150	节点 31	0.30	消防泵房两路输水管断其一	
事故工况 2	150	节点 12	0.46	8-9 管段故障	同时最不利飞行区跑道 消防用水发生于节点 11

对图 5,以飞行区消防工程常用的钢塑复合(PSP 类)管道(外径)代入计算,经 12 次校正后,各

环闭合差均小于 0.1 m(事故工况下均小于 0.001 m),并得到不同工况下的水力损失结果,见表 2。

表 2 不同工况下的水力损失计算结果

Tab. 2 Calculation results of hydraulic loss under different working conditions

工况	主干管路径	对应最大沿程 水头损失/m	备 注
正常工况	1→2→7→6→17→18→23→22→21→24→30→31	5.49	
事故工况 1	1→2→7→6→17→18→23→22→21→24→30→31	5.55	消防泵房两路输水管断其一
事故工况 2	1→2→7→6→17→18→23→22→21→24→29→28→33→34→13→12	11.15	8-9 管段故障

根据表 2,飞行区内专用消防泵房内消防加压泵扬程按照事故工况 2(最不利工况)进行设计,局部水头损失按照沿程水头损失的 20% 计算,消防加压泵扬程应≥60 m(>1.2×11.15+46=59.38 m),采用稳高压系统:

① 飞行区内专用消防泵房设计为半地下自灌式,设计采用 3 台消防加压泵,2 用 1 备。单台流量 75 L/s,扬程 0.64 MPa(工程可研估算 0.81 MPa),

功率 75 kW(工程可研估算 132 kW)。消防水泵自启动时间按照≤30 s(接报警信号后)设计。

② 泵房内同时设计 1 套消防稳压设备(隔膜式气压罐,调节容积 300 L),内含 2 台稳压水泵(1 用 1 备),单泵功率 2.2 kW。稳压水泵的流量按照消防给水设计流量(150 L/s)的 1%~3% 计取,同时综合考虑管网漏损率和其他不确定因素,最终稳压水泵的流量定为 2 L/s。稳压水泵的设计启

($PS1 = 0.50 \text{ MPa}$)、停($PS2 = 0.58 \text{ MPa}$)压力,由气压罐上的启泵、停泵压力开关信号自动控制。

③ 飞行区内专用消防水池设计容量为 $1\,000 \text{ m}^3$,平时储备有飞行区消防水量 600 m^3 ,其他未预见的消防水量为 400 m^3 。

④ 飞行区消防管网的平时水压由消防泵房内的稳压装置维持,飞行区消防时由消防泵房和消防水池供水。

同时,经过以上平差计算,同步对飞行区消防管网进行设计优化,结果见表3。

表3 工程可研及初设阶段经平差计算后的差异对比

Tab.3 Comparison of difference between feasibility and preliminary design stage after adjustment calculation

项 目	工程可研阶段批复投资	初步设计批复概算	备 注
消防管网投资/万元	7 440	8 275	总投资增加 11.22%
消防管网总长/km	35	56.1	平面调整,机位增加,以及平差优化管道,导致工程量增加 60.29%
管道综合单价/(元·m ⁻¹)	2 125.7	1 475.0	经平差计算后降低 30.61%
最大管径/mm	DN500	DN400	平差优化后,管径变小
消防加压泵扬程/m	≥80.0	≥60.0	飞行区内专用消防泵房内扬程降低 25%,管道公称压力 PN 相差一个等级

由表3可知,经过平差计算对设计优化后,在管网工程量增加 60.29% 的情况下,消防管网总投资只增加了 11.22%,而管网综合单价下降了 30.61%。水泵扬程降低 25%,管道公称压力 PN 亦可相差一个等级,运行能耗相应下降。

2019年10月,机场飞行区消防工程经过严格的检测,各项指标均满足设计及规范要求,同时与实际使用情况拟合性较好,验收判定合格,顺利通过国家民航专业工程质量监督总站的竣工验收。

4 结论

在青岛新机场的设计中,严格执行《消防给水及消火栓系统技术规范》(GB 50974—2014)第10.1.9条,通过对飞行区消防给水管网的水力计算和平差分析,实现了合理设计其管网管径、工作压力、消防水泵扬程,并节约了投资。

参考文献:

- [1] 国际民用航空组织(ICAO). 国际民用航空公约 附件14—机场 第I卷 机场设计和运行[M]. 8版. 加拿大:国际民用航空组织,2018.
ICAO. International Standards and Recommended Practices, Annex 14 – Aerodromes, Volume I, Aerodrome Design and Operations[M]. 8th ed. Canada:ICAO,2018 (in Chinese).
- [2] MH/T 7015—2007,民用航空运输机场飞行区消防设施[S]. 北京:中国科学技术出版社,2007.
MH/T 7015 – 2007, The Fire-fighting Facilities in the Aerodrome at Airports Serving Civil Aviation Transportation [S]. Beijing: China Science and Technology Press,2007(in Chinese).

- [3] 陈俊. 民用运输机场飞行区消防给水系统设计[J]. 中国给水排水,2016,32(10):64–67.
Chen Jun. Design of fire water supply system in civil aviation airport airfield[J]. China Water & Wastewater, 2016,32(10):64–67(in Chinese).
- [4] 周建华,曲世琳,赵洪宾. 配水管网压力与漏水量关系试验研究[J]. 给水排水,2005,31(8):94–97.
Zhou Jianhua, Qu Shilin, Zhao Hongbin. A model for pressure-dependent leakage in water distribution network [J]. Water & Wastewater Engineering, 2005, 31(8): 94–97(in Chinese).
- [5] NFPA 291, Recommended Practice for Fire Flow Testing and Marking of Hydrants[S]. USA:NFPA,2019.



作者简介:陈俊(1982—),男,江苏高邮人,硕士,高级工程师,注册公用设备工程师(给水排水),国家民航局民航建设工程评标专家库专家,现从事民航机场给排水及消防设计研究工作。

E-mail:284820355@qq.com

收稿日期:2019-10-21