

城市内涝监测预警信息系统研究

邵鹏飞^{1,3}, 赵燕伟², 杨明霞¹

(1. 浙江工业大学 计算机科学技术学院, 杭州 310023; 2. 浙江工业大学 机械工程学院, 杭州 310023;

3. 浙江万里学院 电子信息学院, 浙江宁波 315100)

摘要: 针对越来越严重的暴雨至涝现象, 为了让普通民众可以通过智能移动终端应用便捷地获取并分享汛情信息, 更好地避灾避险并参与到抢险救灾中, 基于现有城市道路积水监测系统的基础数据, 采用移动 GIS 和云服务等技术, 设计了具有道路实时积水呈现、道路通行重要告警、汛情实景图片、政府信息通告等功能的一体化城市内涝监测预警信息系统; 该系统包括内涝监测预警信息服务平台和智能移动终端应用两部分, 基于云技术构建“内涝监测 e 警”平台并设计了基于移动云服务的数据统一调度与管理, 基于移动 Web 技术开发“内涝监测 e 警”智能终端应用, 应用和平台之间基于移动 Web 和移动 GIS 技术实现数据访问; 测试显示该系统支持大量用户的并发访问, 能够简洁有效实现内涝监测数据信息共享, 对城市内涝监测预警具有实际的应用意义。

关键词: 城市内涝; 内涝监测; 预警; 信息系统

Research on Urban Waterlogging Monitoring and Pre-Warning System

Shao Pengfei^{1,3}, Zhao Yanwei², Yang Mingxia¹

(1. College of Computer Science & Technology, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, Chian;

2. College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, Chian;

3. Faculty of Electronic and Information Engineering, ZWU, Ningbo 315100, Chian)

Abstract: For more severe rainstorm to waterlogging phenomenon, an integrated urban waterlogging monitoring and pre-warning system is designed by using the new technology of mobile GIS and cloud services, in order to allow the general public can easily access and share flood information through the intelligent mobile terminal applications, to escape hedge and participate in disaster relief better. This novel system is based on the data from existing urban road water monitoring systems, providing real-time map rendering of urban road water status and traffic warning, real-time flooding picture sharing, collection and distribution of relevant government solutions and public interests, etc. It consists of two parts: waterlogging monitoring and pre-warning information service platform and smart mobile terminal applications. The mobile web and mobile GIS technologies are used for data communications between these two parts. The "Waterlogging Monitoring e-Police" platform is constructed based on cloud technology and a mobile cloud-based data services and unified management strategy is designed for data exchange. The "Waterlogging Monitoring e-Police" mobile application is developed with mobile web technology. Test shows that this system can support a large number of concurrent access users, simple and effective realization of waterlogging monitoring data information sharing. So it has practical significance for the urban waterlogging monitoring and pre-warning application.

Keywords: urban waterlogging; waterlogging monitoring; pre-warning; information system

0 引言

近年来, 我国一些城市因暴雨来袭而内涝的事件频频发生。2012年7月北京市特大暴雨, 2013年10月“菲特”台风浙江省余姚市近70%面积被淹, 2014年3月广东深圳等华南地区连降暴雨造成巨大损失, 2015年夏广西边境、安徽安庆、上海、浙江、武汉、北京等多个城市因暴雨袭击城市内涝变成汪洋。这些“暴雨成灾”现象已经引起市政、防汛、路政等政府有关部门的高度关注: 一方面要积极修建并管理好排水设施, 另一方面要加快城市道路(涵洞)积水监测系统等非工程性措施的建设 and 应用。

城市道路(涵洞)积水监测系统的建设极为必要, 它实现

了城市重要积水点的水位监测, 既可以为决策机构的领导提供道路积水的实时信息, 也能为市政排水调度管理机构提供支持。但目前国内已建及在建的城市道路(涵洞)积水监测系统在平台架构设计和功能实现上都立足于满足特定的应用群体(领导和政府相关职能部门), 没有考虑将这些实时监测及预警信息直接共享给普通百姓, 并提供一个便捷直观获取信息的途径, 老百姓只能从广播、电视等媒体上获取相关的报道信息, 无法满足信息需求, 从而导致避灾、疏导和参与抢险救灾等行动的滞后。

1 研究现状

针对城市防涝, 国外发达国家长期以来都非常重视排水基础设施建设, 并不断采用新的技术来提高应对能力, 使得全民能够及时获取风险预警和实时雨情信息。国外对排水设施的研究主要集中在暴雨模型、智能神经网络控制、GIS 系统等方面, 目前已经有很多成熟的排水设施商业应用软件及相关模型^[1]。对城市暴雨积水过程模拟和预测主要集中于城市雨洪模

收稿日期: 2015-08-31; 修回日期: 2015-10-15。

基金项目: 宁波市社会发展基金项目(2014C50006); 宁波市创新团队项目(2012B82006)。

作者简介: 邵鹏飞(1978-), 男, 浙江宁波人, 副教授, 主要从事物联网技术及其应用、智能网络控制方向的研究。

型的应用研究,其中,代表性的城市雨洪模型有 SWMM 模型、MOUSE 模型、STORM 模型和 Wallingford 模型等^[2]。

与国外发达国家相比,我国不仅在城市基础排水设施建设和管理上远远不够,在城市洪涝汛情风险预警评估系统研究和应用也相对落后。但近年来,随着国内各地不断出现严重的城市内涝现象,给政府和社会敲响了警钟,政府、研究机构和企业都在积极行动起来,采取积极有效的措施解决这个问题,并取得了积极的进展。目前,国内多省市已对城市暴雨积涝进行研究并建设了内涝监测预警系统^[3-7],众多的产学研机构及企业致力于城市道路积水监测系统的设计和开发^[8-11],在城市暴雨内涝积水模型构建^[12-13]、风险评估^[14-15]和预测^[2]等方面也取得较多的研究成果,但对普通民众如何便捷有效获取实时的道路积水和通行信息仍然关注不够,普通民众还只能通过电视、广播、报纸和网络等公共媒体途径获取相关的报道信息,不利于老百姓避灾和参与抢险救灾。

2 城市内涝监测预警信息系统设计

城市内涝监测预警信息系统主要基于现有的城市道路(涵洞)积水监测系统的基础数据,通过系统平台及软件,在发生城市内涝时,为大众提供便捷的一体化风险预警和汛情信息共享服务。为了实现系统数据的统一存储和管理,系统访问的统一处理和实时响应,信息推送,及与其他系统平台之间的数据通讯等,需要构建预警信息服务平台,其系统架构如图 1 所示。

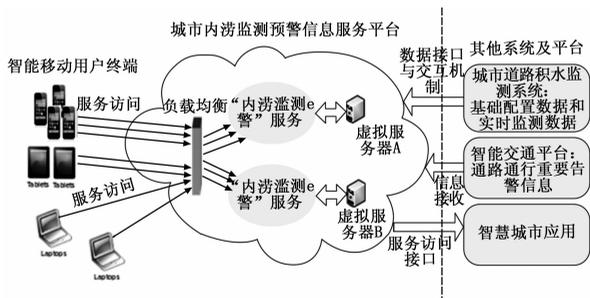


图 1 城市内涝监测预警信息系统架构

智能手机等多种移动用户终端通过无线技术接入城市内涝监测预警信息服务平台,获取“内涝监测 e 警”服务,包括道路实时积水状态、道路通行重要告警信息、汛情实景图、政府信息通告和网友评论等,也可以通过该平台发布用户自己发现的最新汛情信息,实现信息共享。预警信息服务平台基于云技术构建,实现透明、弹性可扩展的“内涝监测 e 警”服务和统一的数据访问与资源管理。该平台通过数据接口和数据交互机制设计直接从现有的城市道路积水监测系统获取监测点基础配置数据和实时监测数据,或通过数据同步技术建立两者之间的实时数据镜像。另外,该平台从城市智能交通平台获取汛情发生时重要的道路通行告警信息,并向智慧城市应用提供统一的服务访问接口。

2.1 基于移动云服务的数据统一调度与管理

在本系统中,需要智能移动终端具有自适应能力,能在复杂网络环境下,自适应网络的变化,采用合适的数据传输机制和工作模式等来保障与预警信息服务平台之间的数据交互。基于移动云服务的数据统一调度与管理方案的核心是将系统服务

数据存储于云端,完成系统数据的统一存储与管理,并从云端将数据提供给移动用户,保证用户随时随地的获取服务数据,其逻辑结构如图 2 所示。

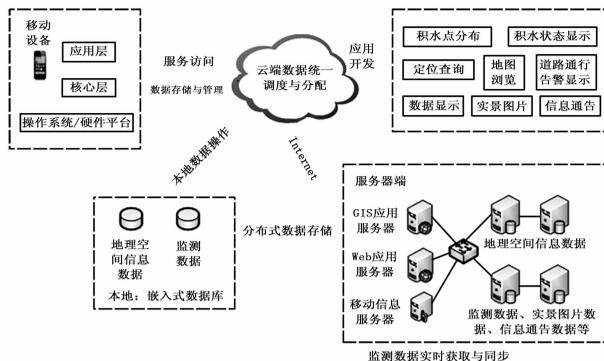


图 2 基于移动云服务的数据调度与管理

基于移动云服务的数据统一调度与管理方案的关键是基于移动云服务的系统自适应管理策略。从客户端、网络传输和服务器端这 3 个部分提供相关的解决方案。首先客户端自身定位自适应:首选 GPS 定位,在 GPS 信号不好的情况下,通过自适应计算,采用移动网络定位;然后工作模式自适应:当外界网络条件稳定时,系统首选“在线模式”,此时客户端通过无线网络与服务器端直接建立连接,实时地与服务器端进行地理空间数据和用户数据的交互,用户可以获取所有系统应用服务,包括道路积水及通行状态地图呈现、实时数据显示、实景图片和信息通告等。“在线模式”下,系统对各种可行的接入方式进行自适应通信测算,选择传输性能最好的接入方式,一般优选 Wifi 无线接入方式。另外,该模式下由于客户端与服务器端持续不断的交互数据,因此宜采用 TCP 连接传输方式。当外界网络中断或者部分服务器出现故障时,导致客户端移动设备无法与服务器端进行实时数据交互,这时候为保证用户的正常使用,系统需要自动无缝地切换到“离线工作”模式。此时系统数据仍来自于云端,只不过经系统自适应计算后切换到了本地数据库,根据系统内移动用户的坐标值、屏幕显示的范围大小以及缩放级别等,计算出本地地图在终端上的显示范围,由于本地数据库中存储的地图数据为简易的,因此不能够提供“在线模式”下详细的地图数据。另外,该模式下,由于通讯功能限制,主要采用客户端与服务器端点对点 SMS 短信的方式实现基本的监测数据交互,所以仅显示用户周边最近几个监测点的实时数据,并由系统向注册用户以短信方式推送重要的告警信息和通告。

2.2 基于云技术构建预警信息服务平台

为了支持大量用户的并发访问、应用、资源和服务的弹性扩展,本系统基于云技术构建预警信息服务平台,主要包括基于云技术构建系统基础平台,并在基础云平台上架设 Web 服务、GIS 应用服务和短信推送服务等多种应用服务系统等,采用中间件分层思想设计系统云服务体系结构,实现并提供“内涝监测 e 警”服务。基础云平台的构建有自建和租用两种方案。自建方案可以节约开发成本,系统运行功能和性能得到基本测试,常用软件环境: Hadoop+CentOS+JDK,硬件环境常由多台服务器本地连网后以主从方式构建。租用方式是商业

化的解决方案, 使得系统功能和性能能得到更好的商业化应用测试, 更加符合应用和推广要求, 但增加了开发成本, 比如可以基于商用的弹性计算云服务构建基础云平台。另外, 系统定义统一的数据与服务访问虚接口, 并基于虚接口定义与现有城市道路积水监测系统的数据访问接口及访问机制, 获取基础配置数据及实时监测数据; 定义与智能交通平台的访问接口及访问机制, 获取城市道路通行重要变化信息等。

3 基于移动云端服务的智能移动终端应用开发

为了让普通民众能够便捷地访问一体化汛情信息服务, 本系统基于嵌入式智能移动终端开发终端应用, 并基于移动云端服务提供强大的并发接入访问功能。本系统需要实现的功能主要包括基于 GIS 的城市道路实时积水状态和通行告警图形化显示, 基于用户定位、关注和核心位置的积水情况详细数据显示和告警提示, 基于区域划分的汛情实景图片共享, 及政府措施公告、专家预测、网友交流等信息的及时发布与共享等。因此, 在本系统中, 既有基于 Web 的地理空间数据, 也有用户数据 (监测点分布、实时监测数据、定位、图片等), 需要基于移动 GIS, 确定智能移动终端应用的开发平台和嵌入式数据库系统、多种接入方式的自适应机制、不同数据类型和工作模式下的网络传输方式等, 然后基于移动云端统一调度和管理机制, 开发“内涝监测 e 警”智能终端应用软件。

3.1 系统数据库设计

考虑实际需求, 系统主要的数据库表包括用户信息表、定位信息表、监测点信息表、监测数据表和短信信息表等, 各表的定义及表间关联如图 3 所示。

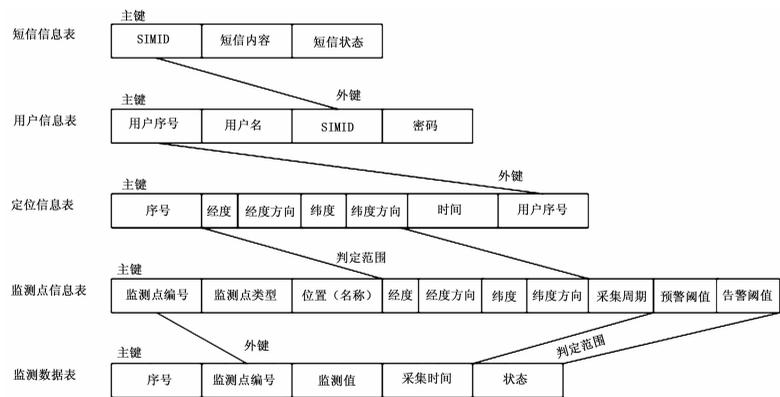


图 3 系统数据库设计

其中, 用户信息表为每个系统用户生成记录表项, 非注册用户登录时, 系统将为其生成一个临时表项; 定位信息表用于保存移动用户终端的每次定位信息; 监测点信息表用于保存各类监测点的基础配置信息, 与现有的城市道路积水监测系统的监测点信息表一致; 监测数据表用于保存所有监测点的实时监测数据; 短信信息表用于保存“离线模式”下点对点通信数据, 包括用户数据请求和服务器响应的监测点数据及重要告警信息等。

3.2 “内涝监测 e 警”智能终端应用开发

“内涝监测 e 警”软件设计基于两类用户: 注册用户和非注册用户, 其主要区别是仅注册用户享有“离线模式”时系统对重要告警的信息推送服务。在系统开发中, 考虑国内 An-

droid 平台和 IOS 平台的用户都很多, 采用移动 Web 技术实现应用软件的跨平台无关性。该软件的分层结构如图 4 所示, 主界面主要包括监测点的实时积水状态、道路通行重要告警等的 GIS 显示, 基于道路或者位置查询的搜索, 及“数据显示”、“实景图片”和“信息通告”3 个子模块 (其功能实现见图 5 (a)、(b)、(c))。

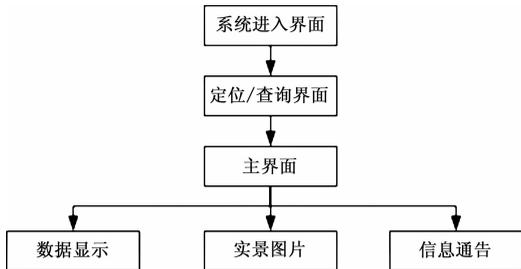
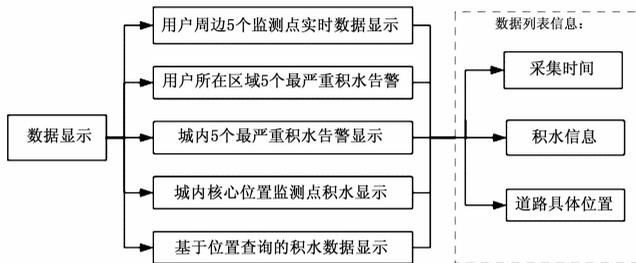
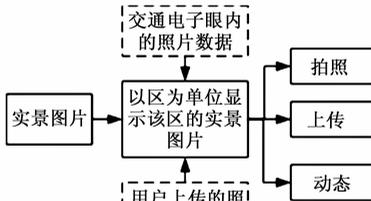


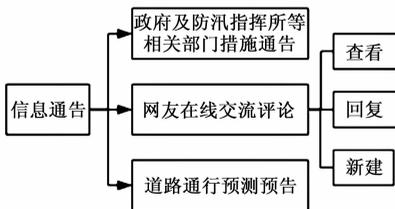
图 4 终端应用软件结构



(a) 数据显示模块



(b) 实景图片模块



(c) 信息通告模块

图 5 功能实现图

本智能终端应用需 GPS、无线数据网络等支持。在进入系统后, 首先通过定位或基于位置的查询操作, 探测到用户自身或其关注的位置信息之后, 从云端获取服务数据并呈现在主界面上, 主要包括监测点的实时积水状态、道路通行重要告警等的 GIS 显示, 监测点由红蓝两种颜色显示, 其中蓝色又显示成深浅不同的颜色来区别 3 个等级 (安全/预警/告警), 红色表示已达到不可通行的积水状态。用户可以拖动地图显示其他区域的监测信息, 也可以点击具体监测点, 将显示位置、水位数据和建议等。主界面上方有搜索条, 用户可以手动输入道路名称或者位置进行查询, 系统会对此进行模糊查询并显示相近位置数据供用户确定。主界面下方提供 3 个功能按钮: “数

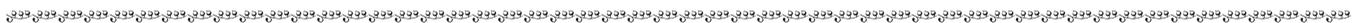
据显示”、“实景图”和“信息通告”，点击后分别进入相关的功能界面。

4 结语

本文在现有的城市道路（涵洞）积水监测系统的基础上，采用当前发展迅速的云服务、移动 GIS 及智能移动终端应用等技术，设计了一种面向民众的城市内涝监测预警信息系统。该系统通过基于云技术的预警信息服务平台和智能移动终端应用的便捷途径，可为广大普通百姓提供城市道路积水实时信息、道路通行重要告警信息、相关的政府解决措施和社会关注热点等的一体化信息服务。通过这些应用，普通老百姓不仅可以及时避灾避险，还可以积极参与到汛情信息共享和抢险救灾当中。测试显示该系统支持大量用户的并发访问，及应用、资源和服务的弹性扩展，能够简洁有效实现内涝监测数据信息共享，对城市内涝监测预警具有实际的应用意义。需要注意的是，在系统软件开发中引入中间件技术，云端数据存储与管理交由中间件处理，包括核心服务（用户认证、移动 GIS 交互、定位查询、Web 服务、数据请求等）、数据服务（数据预处理、数据库系统等）和通讯服务（在线交互、离线交互）等，并采用分层设计进行中间件功能模块的定义，可屏蔽复杂网络环境下数据交互的复杂性，提供与其他系统平台（如现有城市道路积水监测系统、智能交通平台和智慧城市应用等）之间的一致访问接口，便于上层应用开发和系统扩展移植。

参考文献：

[1] 宋兵跃, 吴建平, 周 杨, 等. 市政排水设施安全运行监测及预警标准研究 [J]. 给水排水工程, 2014, 32 (6): 83-86.



(上接第 48 页)

2.3 验证结果分析

从图中可看出，当变压器运行在额定负载和变负载两种情况下时，变压器绕组热点温度软测量预测值、IEEE 模型计算值和变压器绕组温度实测值在图中都具有较好的一致性，说明两种模型均可预测出热点温度随时间的变化。软测量模型得出的热点温度值与实际数据更接近，说明其具有较高的精度。尤其在温升变化时的暂态过程中，软测量模型的预测准确性明显优于 IEEE 指数模型。

3 结论

1) 影响变压器绕组热点温度的变量有很多，因此为了充分考虑变压器运行时各因素的影响，本文添加了辅助变量（油黏度、冷却风扇运行个数等）对主导变量进行计算和优化，通过仿真可知使模型具有了更加精确的预测能力。

2) 在热电类比模型基础上，提出了一种更有变负载计算优势的软测量模型，使其更加贴合实际工程运用情况，试验证明该模型具有更大的开发和应用潜力。

3) 与负载导则法的模型相比，软测量模型得出的数据与实际数据更接近，尤其在暂态过程中，其预测准确性明显优于负载导则法模型。但是，软测量模型在辅助变量的选择与优化上还有待验证加强。并且由于智能方法在解决非线性系统控制方面有独到之处，在后续研究中有必要引入智能方法。

[2] 郑姗姗, 万 庆, 贾明元. 基于 STARMA 模型的城市暴雨积水短时预测 [J]. 地理科学进展, 2014, 33 (7): 949-957.

[3] 景学义, 刘宇飞, 王永波, 等. 哈尔滨市城市内涝监测预警系统建设 [J]. 灾害学, 2009, 24 (01): 54-57.

[4] 房国良, 解以扬, 李培彦, 等. 上海城市暴雨积涝预警系统研究 [J]. 大气科学研究与应用, 2009, 02: 32-41.

[5] 万胜磊, 左林远, 王松吉. 莱西市道路积水监测系统 [J]. 山东水利, 2011 (11): 61-65.

[6] 袁 凯, 姚望玲, 刘火胜, 等. 武汉城市内涝预警预报系统研究 [A]. 第 31 届中国气象学会年会 [C]. 2014.

[7] 陆沈钧, 戴晶晶, 刘增贤. 浅谈城市排水防涝监控调度管理系统建设—以苏州市城市中心区为例 [J]. 中国水利, 2015, 07: 58-61.

[8] 周汝雁, 白 凡, 随 宏, 等. 嵌入式远程城市积水监测系统 [J]. 水利科技与经济, 2013, 19 (4): 109-112.

[9] 夏志川, 钟小建, 阮 飞, 等. 城市道路积水多点监测及预警系统设计 [J]. 电子测试, 2013 (5): 56-61.

[10] 李 振. 城市道路积水监控系统设计与实现 [D]. 成都: 电子科技大学, 2013.

[11] 张 伟. 基于 ARM 和 GPRS 的城市道路积水自动监测与预警系统设计 [D]. 成都: 成都理工大学, 2014.

[12] 王慧军, 许映秋, 谈英姿, 等. 基于区域网格划分的城市积水预警模型构建 [J]. 机械制造与自动化, 2014, 43 (2): 117-120.

[13] 马洪涛. 数学模型在城市排水防涝规划中应用的探讨 [A]. 中国土木工程学会水工业分会全国排水委员会 [C]. 2014 年年会, 2014.

[14] 谢 放. “2D 城市洪涝与流域汛情风险预警评估系统”应用探讨 [J]. 长江科学院院报, 2013, 30 (6): 27-30, 42.

[15] 刘 洁. 城市洪水灾害易损性的量化模型及动态演化研究 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

参考文献：

[1] 电力工业部, 中华人民共和国电力行业标准 GB/T 15164-1994, 《油浸式电力变压器负载导则》[S], 1994.

[2] 王亚辉, 钱东平, 王希望, 等. 变压器油温在线监测系统 [J]. 测控技术, 2005, 24 (7): 66-68.

[3] Swift G, Molinski T S, Lehn W. A fundamental approach to transformer thermal modeling-part I: theory and equivalent circuit [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16 (2): 171-175.

[4] Swift G, Molinski T S, Lehn W. A fundamental approach to transformer thermal modeling-part II: field verification [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2001, 16 (2).

[5] Pierce L W. An investigation of the thermal performance of an oil filled transformer winding [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 1992, 7 (3): 1347-1358.

[6] 江海莎, 李 剑, 陈伟根, 等. 油浸式变压器绕组热点温度计算的热路模型 [J]. 高电压技术, 2009, 35 (7): 1635-1639.

[7] 杜 锋, 刘 全, 雷 鸣. 软测量技术及其在发酵过程中的应用 [J]. 食品科学, 2002 (8): 352-356.

[8] 王孝红, 刘文光, 于宏亮. 工业过程软测量研究 [J]. 济南大学学报 (自然科学版), 2009 (1): 80-86.

[9] 彭向华. 软测量技术在污水处理中的应用研究 [D]. 昆明: 昆明理工大学, 2002.

[10] 江海莎. 基于底层油温的油浸式变压器热点估计方法研究 [D]. 重庆: 重庆大学, 2009.

[11] 杨 平, 刘 佳. 一种电力变压器热点温度计算模型 [J]. 变压器, 2013 (12): 24-28.