

数据中心应用新风直接引入式系统的潜力分析

高东媛,杜宇,赵倩倩,张伟捷

(河北工程大学 城市建设学院,河北 邯郸 056038)

摘要:本文通过分析数据中心的特点及其空调系统能耗现状,指出了现今用于数据中心的空调系统的配置和运行模式所存在的问题,通过新风天然冷源利用的可能性及由此引起的系统节能的潜力分析,论述了新风直接引入式系统在数据中心空调形式中应用的重要性和必要性。以所构建的一个数据中心模型建筑为研究对象,通过常规空调系统设计和模拟的手段进行方案对比分析,结果表明,在数据中心空调中应用新风直接引入式系统的节能效果是十分显著的。

关键词:数据中心;新风直接引入式系统;天然冷源;节能潜力

中图分类号: TU831

文献标识码: A

Potential analysis of directly introducing fresh air system used in data center air conditioning system

GAO Dong-yuan, DU Yu, ZHAO Qian-qian, ZHANG Wei-jie

(College of Urban Construction, Hebei University of Engineering, Hebei Handan 056038, China)

Abstract: In this paper, characteristics of data centers and energy consumption status of their air conditioning systems are focused. Drawbacks of the allocation and operation mode of the air conditioning systems nowadays are pointed out. Local availability of natural cold source from fresh air and the energy saving potentials by directly introducing fresh air for indoor cooling are discussed. Importance and necessity of the directly introducing fresh air system used in data center air conditioning are expounded. A comparative schematic analysis on a model building of data center by design norm and simulation work has been done in this paper. Reasonableness and great energy saving potentials of the new style air conditioning system with directly introducing fresh air for indoor cooling has been well manifested by our research work.

Key words: data center; directly introducing fresh air system; natural cold source; energy saving potential

随着我国各行各业网络化、信息化的不断推进,数据中心的数量和规模正在高速增长和扩大,其能耗问题日益凸显。据我国工信部统计,当前我国各类数据中心总量约43万个,2011年,我国数据中心总耗电量达700亿千瓦时,已占到全社会用电量的1.5%。其中,空调系统能耗约占数据中心总能耗的40%^[1],因此,降低数据中心空调系统能耗意义重大。

数据中心空调系统要求全年不间断供冷,而室外空气中蕴藏着大量的天然冷量,尤其是在冬季,室外空气温度大都低于机械制冷的送风温度,

此时如果通过一定的技术手段直接引入新风冷量加以利用,则可大大降低数据中心机械制冷的空调负荷,同时也避免了由于冬季冷凝温度过低而造成的机械空调系统性能低下、系统能耗加剧的问题。

把天然冷源作为数据中心的冷却能源是一种新型节能环保的空调冷源形式。王景刚等^[2]对某数据中心机房空调节能改造进行了技术分析,结果表明应用室外天然冷源进行机房降温在技术上可行并能有效地降低机房空调运行能耗;陈鹏飞等^[3]对某通信公司程控交换机房空调系统进行了

改造并设计了新风供冷空调系统,其运行结果表明因天然冷量的引入而带来的节能效果十分显著。本文通过建立模型建筑,采用模拟的技术手段对在数据中心空调中采用直接引入新风的空调辅助系统,充分利用室外新风这一天然冷源的可行性和系统节能潜力分析和论证的过程进行具体和详细的说明,为数据中心空调系统的节能改造提供参考和依据。

1 模型建筑的建立

根据数据中心相关设计标准^[4-6]及其建筑构成特点,本文构建了一个四层数据中心大楼模型,如图1所示。该数据中心总建筑面积约3 121.2 m²,占地面积约780.4 m²,一层主要为辅助支持区,二层为办公区域,三层为数据中心服务器机房,四层暂不使用,作为服务器机房扩展备用区。

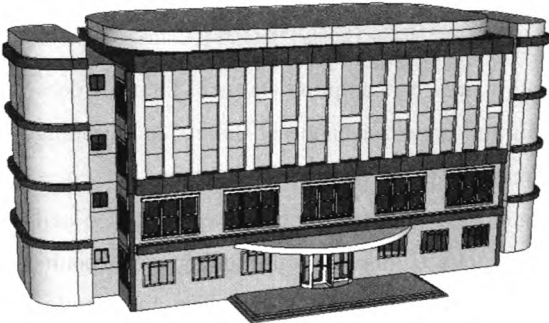


图1 数据中心大楼模型
Fig.1 Building model of data center

数据中心大楼南、北朝向,服务器机房位于大楼第三层,尺寸为28 m(长)×18 m(宽)×4.8 m(高),机房面积504 m²,外墙结构为370 mm砖墙,南、北墙均为外墙,东侧墙有约39.7 m²外墙,无外窗,机房布置平面图如图2所示。

机房内无常驻工作人员;内设荧光灯50盏,每盏40 W;共摆放203个服务器机架,机架总功率

约为542 kW。

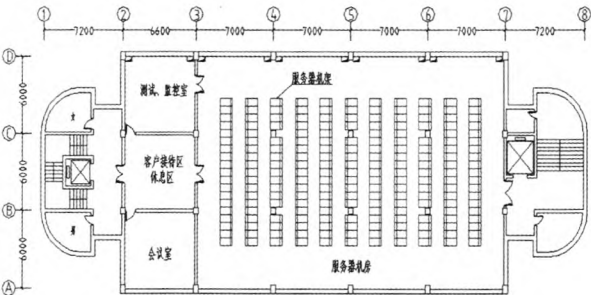


图2 服务器机房布置平面图
Fig.2 Layout plan of server room

2 机房常规空调系统设计

2.1 主要设计参数

本文选用北京地区气象参数为例进行分析,主要室外设计参数如下:

夏季室外计算干球温度:33.6℃;室外计算湿球温度:26.3℃;室外最高温度:41.9℃;冬季室外计算干球温度:-9.8℃。

根据工艺环境要求,《电子信息系统机房设计规范》(GB 50174-2008)^[4]对服务器机房的温度、相对湿度以及洁净度等方面做了相关规定,主要室内设计参数如表1所示,本设计采用A级标准。

2.2 服务器机房空调冷负荷计算

服务器机房冷负荷是进行空调设备选择的主要依据,其冷负荷主要由以下几个部分组成:

(1)围护结构瞬变传热形成的冷负荷Q₁

该部分负荷主要是太阳辐射热通过机房的屋顶、墙壁、楼板、门窗等围护结构所传入的热量和因室内外空气温差所引起的传热量两部分之和,负荷计算采用冷负荷系数法,经计算Q₁为8.1 kW。

表1 室内设计参数^[4]
Tab.1 Indoor design parameters

	A级	B级	C级
主机房温度(开机时)	23±1℃		18~28℃
主机房相对湿度(开机时)	40%~55%		35%~75%
主机房温度(停机时)	5~35℃		
主机房相对湿度(停机时)	0%~70%		20%~80%
主机房温度变化率(开\停机时)	<5℃/h,不得结露		<10℃/h,不得结露
洁净度	粒度≥0.5μm,个数≤18 000粒/立方分米		

(2) 机房设备发热量 Q_2

机房设备的发热量是数据中心机房空调负荷的重要组成部分,也是空调系统设计和空调设备选择的主要依据。在实际工程中,设备散热量应按生产厂家提供的资料和设备数量进行计算;当设备资料不全时,也可根据设备实际工作时的指示电流、电压进行计算,本例中 Q_2 为 542 kW。

(3) Q_3 和 Q_4 的确定

Q_3 为机房内工作人员散热量, Q_4 为机房照明设备发热量,计算方法依据《民用建筑供暖通风与空气调节设计规范》(GB50736 - 2012) 中的相应规定,由于该机房内无常驻工作人员, Q_3 按 0 计算,照明设备发热量 Q_4 为 2 kW。

上述四部分的加和即为机房的总冷负荷 Q ,最后计算得该数据中心机房的总冷负荷为 552.1 kW。在选择空调主机时,要确定专用空调机额定供冷量 Q_0 ,一般在 Q 的基础上增加 5% ~ 10% 的安全系数。安全系数取 1.3,则空调机额定供冷量 Q_0 为 717.73 kW。

2.3 送风量的计算

$$G = \frac{Q}{c_p \Delta t} \quad (1)$$

式中: G - 送入房间的风量, kg/s; Q - 显热冷负荷, kW; c_p - 空气的比定压热容, 1.01 kJ/(kg · K); Δt - 送风温差, °C。

数据中心机房内的负荷几乎都是显热负荷,故可用上式来计算,送风温差取 $\Delta t = 8$ °C,计算得该数据中心机房所需总送风量为 190 688.37 m³/h。

2.4 机房常规空调系统方案的确定

该数据中心机房空调系统选用目前国内数据中心最常用的风冷型精密空调系统方式。室内空调机组采用 N + 2 备份原则(N 为计算的设备台数, 2 为备用台数), 方案共采用 8 + 2 台型号为 P3090FARMS1R 的艾默生 - 力博特 PEX 风冷 R22 机组, 其中两台备用。单台制冷量为 89.3 kW, 标准风量为 23 940 m³/h。

室内空调机组下送风上回风, 气流方式采用地板下送风, 静电地板架空高度 500 mm, 空调机组的送风利用架空地板形成的静压箱, 均匀地从地板送风口送到机柜处, 回风通过隔墙的格栅风口利用空调机组形成的负压吸入。

3 新风直接引入式空调系统

3.1 新风直接引入式空调系统的原理

新风直接引入式空调系统的基本原理是把室外的天然空气作为数据中心冷却能源, 利用温湿度传感器探测数据中心机房外的空气温湿度情况, 当室外空气温度低于某个设定值(具体温度根据不同实际情况进行设定)时, 开启送风设备, 将机房室外冷空气经过滤装置处理后送入机房, 进入机房的冷空气与机房内部热空气进行热交换, 从而降低机房内空气温度。同时, 机房维持一定正压并开启排风设备, 依靠正压或风机将机房内的热空气排出, 实现降低数据中心机房室内空气温度的目的, 这样可以减少机房空调设备的开启时间, 大幅度降低空调系统能耗。

3.2 新风直接引入式空调系统方案设计

为了充分地利用较低温度的室外空气冷源, 将室外的新风与机房内回风在静压箱内混合, 然后采用地板送风送入服务器机房, 达到消除室内余热的目的。送入机房的送风量不变, 并根据室外空气温度的变化调节新、回风比例, 以达到送风状态点, 来保证机房内设定的温度。新风直接引入式空调系统在室外环境温度较低时, 可以部分或全部取代常规空调人工制冷系统的工作, 从而降低系统的能源消耗。

为了分析新风直接引入式空调系统的使用条件, 更加准确地计算该数据中心机房的全年逐时冷负荷, 笔者采用了建筑空调负荷模拟软件 DeST 对所构建的数据中心机房模型进行了全年动态空调冷负荷计算, 整理得到服务器机房全年逐时冷负荷的分布图, 如图 3 所示。

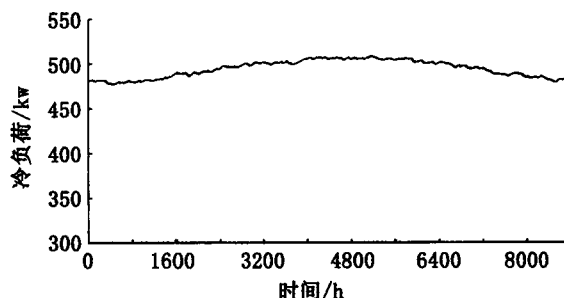


图3 数据中心机房全年逐时冷负荷变化图

Fig. 3 Hourly cooling load variation of the data center within the typical year

由图 3 可见:

1)数据中心服务器机房全年逐时冷负荷最大值为 508.67 kW,出现在第 5 166 小时;全年逐时冷负荷最小值为 477.17 kW,出现在第 438 小时。

2)数据中心服务器机房内设备自身散热量大,是机房的主要热源,机房冷负荷受室外空气温度变化的影响较小,数据中心机房冷负荷稳定,需全年供冷。

对于定风量系统,由于送风量恒定不变,当室内负荷随室外空气温度而变化时,只有靠改变送风温度来适应这种变化。笔者认为,某时刻室外空气温度低于该时刻送风温度时,新风直接引入式空调系统方可使用。送风温度按下式确定:

$$t_0 = t_N - \frac{Q}{q_m c_p} \quad (2)$$

式中: t_0 - 送风温度,℃; t_N - 室内空气温度,℃; q_m - 送入房间的风量,kg/s; Q - 空调冷负荷,kW; c_p - 空气的比定压热容,1.01kJ/(kg·K)。

根据空调全年逐时动态冷负荷的模拟结果,计算并整理得出数据中心服务器机房全年逐时送风温度,如图 4 所示。由于数据中心服务器机房空调负荷特殊性,冷负荷十分稳定,所以该数据中心机房应用新风直接引入式系统的全年逐时送风温度也相对稳定,最高送风温度为 16.09℃,最低送风温度为 15.63℃,本文选定送风温度为 15℃,即当室外空气温度低于 15℃时,可以使用新风直接引入式空调系统,来承担服务器机房全部的空调冷负荷。

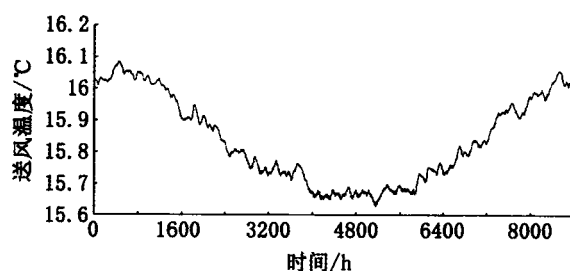


图4 数据中心机房全年逐时送风温度变化图

Fig.4 Hourly supply air temperature variation of the data center within the typical year

本节能方案以送风温度 15℃为界,作为常规精密空调制冷模式与新风直接引入式空调制冷模式切换点。当室外空气温度低于 15℃时,系统由常规精密空调制冷模式转换为新风直接引入式空调制冷模式,并根据北京地区室外空气温度的变化,确定空调系统何时引入新风以及新、回风比例,进而确定新风直接引入式空调系统运行的具体方案。

综上所述,具体运行方案如下:

1)当室外空气温度 $t_w > 15℃$ 时,启用常规精密空调系统,排风风门关闭,依靠无组织空气向内渗入保持室内正压。

2)当室外空气温度 $t_w \leq 15℃$ 时,启用新风直接引入式空调系统,采用室外新风和室内回风混合,混合到送风状态点 15℃,然后由地板下送风送入机房,随着室外空气温度的降低,该过程中新风量也不断的减小。依靠正压将机房内的热空气从排风风门排出,室内保持正压 10 Pa 左右。

由热交换定律可知,欲将室外新风和室内回风混合,混合到送风状态点 15℃,室外引入新风内能的增加量就等于室内回风内能的减少量, $Q_{\text{新}} = Q_{\text{回}}$,即 $\frac{G_{\text{新}}}{G_{\text{回}}} = \frac{t_{\text{回}} - 15}{15 - t_{\text{新}}}$,回风温度为 23℃,总送风量为 190 688.37 m³/h,由新、回风比可以得到北京地区室外空气温度低于 15℃时所需的逐时新风量,新风量随着室外空气温度的升高逐渐增大。

应用新风直接引入式空调系统整个处理过程的全年 8 760h 具体运行方案如图 5 所示。

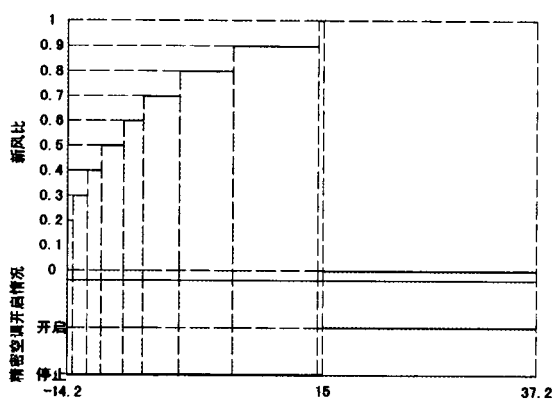


图5 新风直接引入式空调系统运行方案

Fig.5 Operation scheme of the directly introducing fresh air conditioning system

4 新风直接引入式系统的潜力分析

4.1 可资利用新风冷量分析

室外空气中蕴含着大量的天然冷量,尤其是我国北方地区冬季和过渡季节时间长,天然冷量更是丰富。图 6 中曲线为北京地区全年 8 760 h 逐时室外干球温度,直线为送风温度(15℃)。

由图 6 可知,北京地区全年室外空气温度低于送风温度的时间共有 4 773 h,约占全年时间的 54.5%,这段时间内都可以应用新风直接引入式空调系统,利用室外天然冷源达到降低能耗的目的。

的。在该段时间内,常规精密空调系统关闭,启动新风直接引入式空调制冷模式,机房冷负荷全部由新风直接引入式空调系统承担。

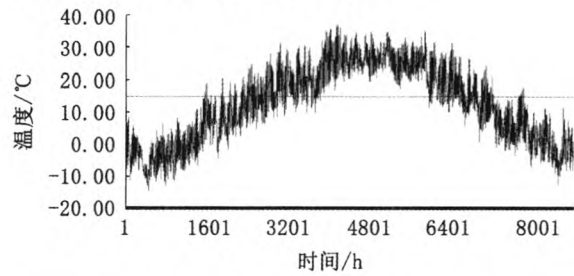


图6 北京地区逐时室外干球温度与送风温度比较图
Fig.6 Hourly comparison between outdoor dry bulb temperature and supply air temperature

图 7 为数据中心机房全年 8 760h 空调冷负荷与新风承担冷负荷的逐时比较结果。图中蓝色和黄色区域面积和为该数据中心机房全年累积总冷负荷,共 4 329 983 kW;蓝色区域面积为室外空气温度低于 15℃时使用新风直接引入式系统后由新风承担的全年累积总冷负荷,为 2 325 935 kW。可见,全年约有 53.7 % 的冷负荷可以由新风直接引入式空调系统来承担,具有很大的节能潜力。

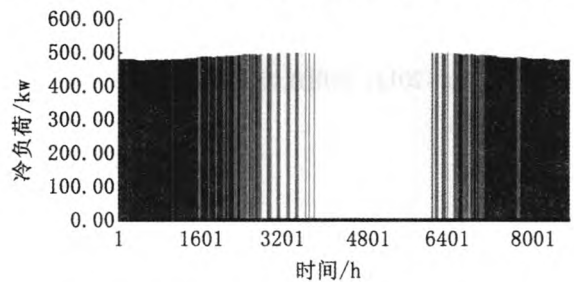


图7 空调冷负荷与新风承担冷负荷逐时比较图
Fig.7 Hourly comparison between design cooling load and fresh air cooling load

4.2 新风直接引入式空调系统能耗计算

新风直接引入式空调系统承担数据中心机房全部冷负荷,机房所需最大风量 190 688.37 m³/h 计算,选择新风风机 6 台,单台风量为 31 914 m³/h,风机功率均为 7.5 kW/台,机房不设排风机,维持机房内一定的正压开启排风风门,依靠正压将机房内的热空气从排风风门排出。

新风风机采用变频调速技术,通过改变电动机工作电源频率达到改变电机转速的目的。由流体力学相关原理可知

$$P = G \times H \tag{3}$$

式中: P - 功率,kW; G - 流量,m³/h; H - 压力,Pa。

由于流量 G 与转速 n 成正比,压力 H 与转速 n 的平方成正比,功率 P 与转速 n 的立方成正比,即功率 P 与流量 G 的立方成正比。当风机的流量从 G_1 变为 G_2 时, P_2 变化关系为: $P_2 = P_1 (G_2/G_1)^3$ 。

根据室外空气温度 $t_w \leq 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时各个温度段的新风比,利用式(3)计算出风机耗电情况(表 2)。

表 2 新风直接引入式空调系统运行耗电情况
Tab.2 Power consumption of the directly introducing fresh air conditioning system

温度段 /℃	新风比 /%	风机功率 /kW	时间 /h	风机能耗 /kWh	耗电总量 /kWh
15~14.5	100	45	106	477	0.0
14.5~13.5	90	32.81	269	882	5.9
13.5~12.5	80	23.04	261	601	3.4
12.5~10.5	70	15.44	409	631	5.0
10.5~8.5	60	9.72	363	352	8.4
8.5~5.5	50	5.63	671	377	7.7
5.5~0.5	40	2.88	1 011	291	1.7
0.5~-9.5	30	1.22	1 582	193	0.0
-9.5~-14.5	20	0.3	101	36.4	

由于室外空气的引入导致室内空气湿度下降,还应考虑加湿能耗。服务器机房内允许的湿度为 23±1℃,湿度波动为 40 % ~ 55 %,含湿量的允许波动范围则为 [6.562 g / kg,10.243 g / kg]。图 8 中折线表示的是北京地区室外空气温度低于 15℃时的逐时含湿量,可见,当室外空气温度低于 15℃时空气湿度相对较低,由于室外新风的引入,所带来的加湿负荷也是不容忽视的,本文考虑对空气进行干蒸汽加湿,加湿耗电量暂未计入总能耗。

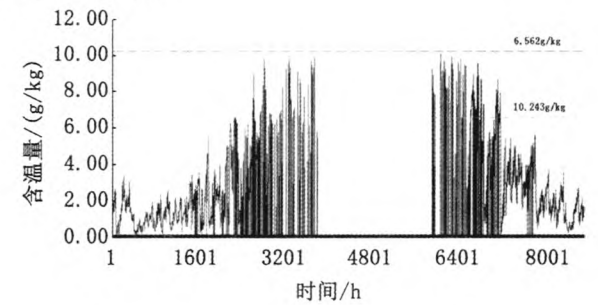


图8 北京地区室外空气逐时含湿量图
Fig.8 Hourly outdoor air humidity ratio in Beijing

4.3 方案能耗对比分析

下面对常规空调系统和新风直接引入式空调系统这两种方案进行能耗对比分析:

(1) 常规空调系统方案

由机房全年冷负荷计算结果及数据中心机房专用空调机的配置情况可知,对于机房常规空调系统,8台机房精密空调需全部启动,且全年不间断运行才能满足服务器机房内的环境要求。根据设备厂家提供的资料可知,单台机房精密空调的总输入功率为30.75 kW。常规空调系统方案全年运行总能耗为: $E = 8 \text{ 台} \times 30.75 \text{ kW/台} \times 8760 \text{ h} = 2154960 \text{ kWh}$ 。

(2) 新风直接引入式空调系统方案

室外空气温度 $t_w \leq 15^\circ\text{C}$ 的时间为4773 h,启用新风直接引入式空调系统,该段时间运行能耗 $E_1 = 38109 \text{ kWh}$;

室外空气温度 $t_w > 15^\circ\text{C}$ 的时间为3987 h,启用常规精密空调系统,该段时间运行能耗 $E_2 = 8 \text{ 台} \times 30.75 \text{ kW/台} \times 3987 \text{ h} = 980802 \text{ kWh}$ 。

新风直接引入式系统方案全年运行总能耗为: $E_0 = E_1 + E_2 = 1018911 \text{ kWh}$ 。

与常规空调系统运行能耗相比,节能率 $\eta = \frac{E - E_0}{E} = 52.7\%$ 。

5 结语

1)与单独使用常规空调系统相比,常规空调和新风直接引入式系统结合使用能充分地利用天然冷源对数据中心机房进行降温,以北京地区为例,全年约有54.5%的时间室外气温低于 15°C ,

即全年约有4773h可以应用新风直接引入系统,节能率高达52.7%,节能潜力巨大。

2)需要说明的是,本文只是从能量利用的角度,以最大限度利用天然冷源为原则,对数据中心最大限度利用天然冷源的节能潜力进行了分析和论证,而为实现这一模式所引起和涉及的一些其它问题和相应的技术措施,像新风引入时所需要的加湿能耗,增设高效的空气过滤器所引起的系统附加能耗,还有新风过滤器的成本和运行维护等问题,本文未做深入讨论,并有待于进一步研究。

参考文献:

- [1] 钱晓栋,李震.数据中心空调系统节能研究[J].暖通空调,2012,42(3):91-96.
- [2] 王景刚,康利改,刘杰,等.IDC机房室外冷源降温的可行性分析[J].暖通空调,2009,39(2):128-132.
- [3] 陈鹏飞,张吉礼,高甫生.程控机房新风供冷空调方式及节能分析[J].暖通空调,2007,37(10):93-97.
- [4] GB 50174-2008,电子计算机机房设计规范[S].
- [5] GB 50189-2005,公共建筑节能设计标准[S].
- [6] GB 50736-2012,民用建筑供暖通风与空气调节设计规范[S].

(责任编辑 马立)

(上接第60页)

参考文献:

- [1] 湛润水,胡钊芳.公路桥梁荷载试验[M].北京:人民交通出版社,2003.
- [2] JTG/T J21-2011,公路桥梁承载能力检测评定规程[S].
- [3] 张俊平.桥梁检测[M].北京:人民交通出版社,2002.
- [4] 马坤全,蒋鹏.铁路连续梁桥荷载试验与结构评定[J].铁道标准设计,2007(12):33-37.
- [5] 狄生奎,蒋永.铁路小跨径拱桥荷载试验及承载力评估[J].低温建筑技术,2010(5):66-69.

- [6] 丁红林.既有铁路简支T梁桥的动载试验研究及有限元分析[J].福建建材,2011(9):41-43.
- [7] 刘运明.青藏铁路某简支T型梁桥动载试验研究和有限元分析[J].河南建材,2011(6):13-17.
- [8] 武勇.武汉天兴洲公铁两用长江大桥主桥荷载验收试验研究[J].桥梁建设,2010(1):55-59.
- [9] 陈兴冲,王春芬.内昆铁路花土坡特大桥静动载试验[J].工程力学(增刊),2002(z):79-82.
- [10] 铁路桥梁检定规范(铁运函[2004]120号)[S].
- [11] TB10002.3-2005,铁路桥涵钢筋混凝土和预应力混凝土结构设计规范[S].

(责任编辑 刘存英)