中国科技资源导刊 ISSN 1674-1544
2018 年 3 月 第 50 卷第 2 期 21-27

大型科学仪器资源共享双层规划模型研究

吕万钧[1] 吕永波[1] 李美楠[2] 刘朝阳[1] 李 晶[1]
（1.北京交通大学交通运输学院，北京 100044；2.辽宁铁道职业技术学院，辽宁锦州 121000）

摘要：为了实现我国大型科学仪器资源的优化配置、资源供给双方效益最大化，文章从科技管理部门的角度，构建双层规划模型，力求在资源共享过程中，供给方获得最大收益的同时，需求方支出最少的成本。通过分析我国华东地区生物与医药领域大型科学仪器资源的配置情况，对双层规划模型进行求解后，实现在总消耗最小的基础上最大程度发挥华东地区现有仪器资源的作用，较好地优化地区间大型科学仪器资源配置的问题。提出在共享过程中必须发挥好科技管理部门的主导作用，充分整合现有资源，推动大型科学仪器资源在全国范围内的共享。

关键词：大型科学仪器；资源配置；仪器共享；双层规划；联合收益

中图分类号：G322 **文献标识码：**A **DOI：**10.3772/j.issn.1674-1544.2018.02.004

Study on Two-tier Planning Model of Large Scientific Instrument Resource Sharing

LÜ Wanjun[1], LÜ Yongbo[1], LI Meinan[2], LIUZhaoyang[1], LI Jing[1]
(1.School of Traffic and Transportation in Beijing Jiaotong University, Beijing 100044; 2.Liaoning Railway Vocational and Technical College, Jinzhou 121000)

Abstract: In order to realize the optimal allocation of resources of large scientific instruments and maximize the benefits of both sides of resource supply, this paper constructs a two-tier planning model from the perspective of science and technology management department. In the process of resource sharing, the supply side obtains the maximum benefit and the demand side spends the least. By analyzing the configuration of large scientific instruments in the field of biology and medicine in East China, the two-tier planning model is solved, and the effect of the existing instrument resources in East China is maximized on the basis of the minimum total consumption, optimizing the allocation of large scientific instruments in the region. Therefore, in the sharing process, science and technology management must play a leading role and integrate existing resources to promote the share of scientific equipment resources.

Keywords: large scientific instruments, resource allocation, instrument sharing, two-tier planning, joint income

作者简介：吕万钧（1992—），男，北京交通大学交通运输学院硕士研究生，研究方向：系统工程；**吕永波**（1961—），女，北京交通大学交通运输学院博士生导师，教授，研究方向：系统工程（通讯作者）；**李美楠**（1991—），女，辽宁铁道职业技术学院助教，研究方向：铁路旅客运输组织；**刘朝阳**（1973—），男，北京交通大学交通运输学院博士研究生，研究方向：系统工程；**李晶**（1990—），女，北京交通大学交通运输学院博士研究生，研究方向：系统工程。

基金项目：国家基础条件平台中心专项“我国科技基础条件资源指数比较分析研究”(2017DDJ1ZZ12)。

收稿时间：2017 年 9 月 7 日。

0　引言

科技资源是国家战略性资源，科技资源的高效开发和利用在很大程度上决定着国家科技创新和核心竞争力的形成[1]。作为一种重要的科技资源，大型科学仪器资源是国家自主创新的基石，是科技创新最基本的物质基础。大型科学仪器的建设水平不仅制约着科技的发展，同时也是国家科技综合实力的表现。

自2008年起，科技部、财政部共同启动了国家重点科技基础条件资源调查工作，对中央和省级部门所属的科研机构科技资源状况进行了摸底[2]。本文主要基于大型科学仪器设备的资源调查数据，通过对其分布及利用情况研究，提出我国大型科学仪器资源共享的相关模型。

1　发展现状

截止到2014年年底，参与调查的大型科学仪器设备总量为79808台（套），原值合计810.4亿元。参与对外开放的设备有68780台（套），原值为706.3亿元，分别占全部设备数量和原值的86.2%和87.1%。其中，跨区域共享的设备为8280台（套），原值为131.3亿元，分别占全部设备数量和原值的10.4%和16.2%。

由表1可知，我国大型科学仪器资源评价年有效工作机时为1360.7小时，还未达到我国大型科学仪器管理部门设定的仪器年额定工作机时1600小时，说明在大部分地区大型科学仪器资源还存在未充分利用的情况。

我国大型科学仪器资源绝大部分都是通过国家政府投资拨款进行购置的，属于国有资产[3]，具有公共物品属性，应最大限度地为社会提供服务，政府需要对大型科学仪器资源进行统筹规划，促进大型科学仪器资源的共享。此外，通过促进资源共享的方式，也是国家减小资源配置不均衡性的重要手段。大型科学仪器资源的有效共享有利于提高政府的投资效率[4]，使得大型科学仪器资源配置达到系统最优，最大可能地发挥其价值，为我国科研事业作出贡献。因此，作为资源优化配置和提升利用效率的一种重要手段，资源共享逐渐成为国内外科技管理领域学者专家们关注的重点问题。

2　大型科学仪器资源共享模型简述

本文重点以地区间资源共享的理念来盘活大型科学仪器资源的存量资源，以提高我国大型科学仪器资源的利用共享水平，促进大型科学仪器的高效利用，获得最大的经济效益。

2.1　共享主体供给量和需求量确定

大型科学仪器资源共享首先需要确定共享主体以及大型科学仪器资源的供应量和需求量，本文中选取设备利用率作为判断指标。

单台（套）大型科学仪器设备的利用率是指每年设备实际使用机时与额定机时的比值，但考虑到贵重仪器开机使用时间和产出效益，在进行设备利用率计算时，将设备原值作为权重指标，因此地区大型科学仪器整体利用率公式如式（1）所示：

表1　2014年我国各区域大型科学仪器设备配置情况

	数量/（台/套）	原值/亿元	平均年有效工作机时/小时	跨区域共享设备数量/（台/套）
东北区域	6160	76.8	1234.0	309
华北区域	29025	273.3	1349.4	2657
华东区域	21959	256.9	1359.0	2883
西北区域	4191	41.0	1616.2	415
西南区域	7844	64.0	1548.9	646
中南区域	10629	98.3	1228.8	1370
全国	79808	810.4	1360.7	8280

$$a_{ij}=\sum_{n}\left(\frac{b_{ij}{}^{n}}{u_{ij}}\times\frac{c_{ij}{}^{n}}{\sum_{n}c_{ij}{}^{n}}\right)\times 100\% \qquad (1)$$

其中：

a_{ij}表示地区i领域j的设备利用率。经过咨询专家，本文定义大型科学仪器设备的合理利用率范围为80%～120%，超过该范围，设备运行超过额定机时会导致设备高负荷运行，而小于这个范围则认为设备没有充分利用，存在闲置浪费现象。

$b_{ij}{}^{n}$表示地区i领域j的第n台设备年工作机时。

$c_{ij}{}^{n}$表示地区i领域j的第n台设备原值。

u_{ij}表示地区i领域j设备的年额定工作机时。该指标取值参考国家科学技术部关于大型科学仪器额定工作机时定义，取值为1600 h，即$u_{ij}=u=1600h$。

对资源供给方来说，该地区仪器设备平均利用率应该小于120%。每年每台大型科学仪器设备的额定工作机时为1600 h，故若第j个供给方拥有a_j^1台大型仪器设备，利用率为$c_j^1(c_j^1<120\%)$，那么一年内该供给方大型科学仪器资源的共享量就是：$Q_j=(120\%-c_j^1)\times 1600\times a_j^1$。对于资源需求方，若第i个需求方拥有$a_i^2$台大型科学仪器设备，利用率为$c_i^2(c_i^2>120\%)$，那么其需求量就是：

$X_i=(c_i^2-120\%)\times 1600\times a_i^2$。模型中涉及设备数量时，单位均为小时台，不足一小时台的，则向上取整。

2.2 共享问题

首先，共享的根本目标就是要实现整个系统的最大效益[5]。本文是站在科技管理部门的角度，基于各参与方效益最大化的思想对各个地区的大型科学仪器资源进行匹配，由此起到促进共享和引导作用。

其次，资源共享是资源供给方和需求方共同参与的行为，因此每个参与方的成本或收益可以叫作联合成本或联合收益，因此共享行为选择与每个参与方的自身发展水平有着密切的关系。

鉴于上述两个方面的思考，共享问题可以简化为：科技管理部门根据科技基础条件资源调查结果，筛选出大型科学仪器配置过量地区和稀缺地区，将配置过量地区作为仪器供给方，这些地区需要向仪器稀缺地区（即需求方）开放共享其设备，该过程中双方考虑收益和成本因素会产生选择行为。本文要解决的问题就是在考虑双方总效益的情况下，确定各个供给方和需求方之间的匹配关系。

2.3 模型建立

一般情况下，科技管理部门为了使收益最大化，需减少分配成本，要考虑如何定价、如何选择科研院所和科技资源的分配并增加科技资源共享收入费用，这就要求管理部门加强收费制度管理；设备需求方则希望降低设备的使用成本，取得自己的最大收益。本文模型的建立是在假设科技管理部门已经具备了完善的价格机制前提下，需求方只需从自身角度考虑如何降低使用成本。

（1）上层规划

科技资源共享产生价值的同时会伴随各种成本的支出，任何一个科技资源共享的供给方都不能无限制地提供共享服务[6]，在进行仪器共享的过程中必须要控制成本的支出。一是要控制科技资源共享的供给成本，二是要控制科技资源共享的服务成本。

因此，上层规划（U）描述为：从仪器供给方角度出发，使总的固定成本和服务成本最小。

上层规划（U）：

$$\min F_1=\sum_{j=1}^{n}\alpha_j\cdot z_j+\sum_{j=1}^{n}\sum_{i=1}^{m}\beta_{ij}\cdot x_{ij} \qquad (U)$$

$$\sum_{j=1}^{n}z_j\geqslant 1 \qquad (2)$$

$$Q\geqslant\sum_{i=1}^{m}X_i \qquad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{m}x_{ij}\cdot z_j=X_i \qquad (4)$$

模型中的符号意义如下：

下标编号：i表示需求方编号，$i=1,2,\ldots,m$；j表示供给方编号，$j=1,2,\ldots,n$。

决策变量x_{ij}表示第i个需求方在第j个供给方得到的设备共享量；z_j表示0—1变量，当第j个供给方被选择共享时，值为1，否则为0，

$Z=\{z_1,z_2,\cdots,z_j,\cdots,z_n\}$；$Q$表示科学仪器设备的总共享量，所有需求方对仪器设备需求量要小于设备总共享量。

常数α_j表示第j个供给方对外共享科学仪器设备的固定成本，如对实验室条件进行改善的费用、仪器共享平台建设以及设备的调试、维修、维护等费用；β_{ij}表示第j个供给方为第i个需求方提供共享服务时的单位服务成本。仪器共享过程中由于共享双方熟悉度不同，会导致无形成本有所差异，如沟通成本、流程成本等。

上层目标函数是从仪器供给方的角度出发，尽可能减少该地区总的固定及服务成本。上层规划（U）的第一部分为仪器资源共享的固定成本，第二部分为仪器共享过程中的服务成本。

式（2）保证至少有1个供给方对需求方共享；式（3）表示科学仪器设备的总供应量大于全部需求方的仪器设备需求量的总和。式（4）表示第i个需求方的总需求量为X_i。

（2）下层规划

价值是驱动科技资源共享的重要因素，科技资源本身所具有的公共属性，意味着不仅资源拥有者拥有使用权利[7]，而且其他需求者拥有共享该资源的权利。科技资源的共享需求主体只需要付出一定的价值就能获得科技资源的使用权利，在此过程中他们所产生的创新活动自然会产生新的更大的价值，并且由于节省了本身对于科技资源的投入支出，他们在科技资源共享中获得的效益更加明显。

因此，下层规划（L）描述为：从需求方角度出发，在多个供给方存在的情况下，需求方选择最优的供给方，使得总效益最大。

$$\max F_2=\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n}\left(f_{ij}(\ )\cdot x_{ij}\cdot z_j-\theta_{ij}\cdot x_{ij}\cdot z_j\right) \quad (L)$$

$$f_{ij}(\ )=\lambda\cdot(a_{ij}+b_{ij}+c_{ij}) \quad (5)$$

$$x_{ij}\leqslant Mz_j \quad (6)$$

$$x_{ij}\geqslant 0 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{m}x_{ij}\leqslant Q_j \quad (8)$$

模型中的符号意义如下：

$f_{ij}(\ )=\lambda\cdot\left(a_{ij}+b_{ij}+c_{ij}\right)$表示仪器设备的产出成果效益函数，是指第i个需求方在第j个供给方共享仪器设备时产生的效益。其中，λ为效益系数，反映单位产出成果效用的效益值。需要说明的是，此处所提到的效益值并非绝对数量，而是代表着在资源利用中产生的利益水平。

a_{ij}表示第i个需求方在第j个供给方共享设备时的授权专利产出能力，授权专利产出越多，代表专利产出水平越高，需求方获得的效益也最大。计算方式如下：

$$a_{ij}=\sqrt{\frac{a_i}{\max\limits_i(a_i)}\times\frac{a_j}{\max\limits_j(a_j)}} \quad (9)$$

其中，a_i为第i个需求方的授权专利产出能力指数，$\max\limits_i(a_i)$表示m个需求方中授权专利产出的最大值；a_j为第j个供给方的授权专利产出能力指数，$\max\limits_j(a_j)$表示n个供给方中授权专利产出的最大值。采用a_{ij}为需求和供给双方的几何平均数是考虑了联合收益水平，体现了鼓励和引导产出水平相仿的共享双方寻求合作的思想。

同理，b_{ij}表示科技论文产出能力，c_{ij}表示科技成果奖励产出能力，计算过程与a_{ij}同理。由计算公式可知，$0\leqslant a_{ij},b_{ij},c_{ij}\leqslant 1$。

θ_{ij}表示第i个资源需求方在共享第j个资源供给方过程中需要付出的成本系数，主要包括共享过程中人力成本。

Q_j表示第j个资源供给方的仪器设备供应量。

M表示任意大的正整数。

下层规划表示，需求方在选择共享合作对象时获得的收益最大化。式（6）表示当供给方被选定，即当$z_j=1$时，需求方才可以在该供给方获得资源共享量，反之，当$z_j=0$时，需求方不能在该供给方获得资源共享量；式（7）保证变量非负；式（8）表示需求方在第j个供给方获得资源共享总量应该不超过其供应量。

3　实例分析

3.1　研究对象选择及分析

我国华东地区经济发达，交通便利，科技资源丰富，是中国综合技术水平最高的经济区，

同时也是我国科技基础条件中资源最为丰富的地区[8]。华东地区包括安徽、福建、江苏、江西、山东、上海和浙江 7 个省份。这 7 个省份经济和科技发展水平不一致，因此对这 7 个省份的研究对其他地区具有借鉴意义。通常来说，不同研究领域内的科学仪器是不能进行共享的，因此本文选择生物和医药领域的科学仪器资源进行研究。

调查结果显示，2014 年我国华东地区生物和医药领域大型科学仪器资源配置情况如表 2 所示。表 2 中的地区 I—地区 VII 分别代表安徽、福建、江苏、江西、山东、上海和浙江 7 个省份地区。

由表 2 可以看到，华东地区生物和医药领域大型科学仪器资源利用率为 87.9%，处于合理区间。但就华东地区各省份来说，科学仪器资源配置情况差异较大。从仪器数量和原值来看，地区 III 和地区 VI 大型科学仪器资源配置数量较多，分别占华东地区总量的 20.5% 和 38.2%，原值占比分别为 23.1% 和 38.7%。从利用率来看，地区 I 和地区 IV 设备利用率分别为 127.4% 和 150.1%，均超过合理利用水平，存在仪器超负荷运转现象，处于仪器配置稀缺状态；地区 II 和地区 VII 仪器利用率分别为 79.3% 和 76.4%，均不足 80%，存在仪器闲置现象，处于仪器配置过量状态；地区 III、地区 V 和地区 VI，大型科学器仪器资源利用率均处于 80% ～ 120%，仪器资源配置总体较为合理。

3.2 模型求解

（1）确定需求量和共享量

根据表 2 可知，在华东地区 7 个省份中，地区 I 和地区 IV 生物和医药领域大型科学仪器资源配置不足，因此由定义可知，这两个地区为仪器共享需求方 1 和仪器需求方 2，分别计算两个地区的共享需求量。

仪器需求方 1：

$$\begin{aligned} X_1 &= (c_1^2 - 120\%) \times 1600 \times a_1^2 \\ &= (127.4\% - 120\%) \times 1600 \times 239 \\ &= 28298\text{（小时台）} \end{aligned}$$

同理，可计算共享需求方 2 的大型科学仪器资源需求量为：

$$X_2 = 60200\text{小时台}$$

同样，由表 2 可知，地区 II、地区 III、地区 V、地区 VI 和地区 VII 为仪器供给方，分别为供给方 1、供给方 2、供给方 3、供给方 4 和供给方 5，分别计算各个仪器供给方的资源可共享量。

仪器供给方 1：

$$\begin{aligned} Q_1 &= (120\% - c_1^1) \times 1600 \times a_1^1 \\ &= (120\% - 79.3\%) \times 1600 \times 376 \\ &= 2448518\text{（小时台）} \end{aligned}$$

同理，可计算出其他仪器供给方的资源共享量：

$$Q_2 = 511556\text{小时台}$$

$$Q_3 = 179278\text{小时台}$$

$$Q_4 = 1083603\text{小时台}$$

表 2　2014 年我国华东各地区生物和医药领域大型科学仪器设备配置情况

地区	仪器数量/（台/套）	仪器原值/万元	平均年有效工作机时/小时	利用率/%
I	239	30060.0	2037.8	127.4
II	376	36611.6	1269.1	79.3
III	1003	125444.4	1410.0	88.1
IV	125	14866.9	2401.8	150.1
V	332	46931.1	1380.0	86.3
VI	1866	209240.9	1339.3	83.7
VII	945	77686.2	1222.8	76.4
合计	4886	540841.1	1405.8	87.9

$Q_5 = 658852$小时台

计算出华东地区生物和医药领域各省份的仪器资源需求量和共享量，如表3所示，可知资源共享量远大于需求量，直接用双层规划模型求解即可。

（2）常数参数设计

在具体参数设计时，由于实际数据缺失且核算过程复杂，考虑参数设定的科学性和合理性，本文中的固定成本和单位服务成本参数均为当量参数，仅表示相对关系。

共享固定成本α_j见表4。

单位机时服务成本β_{ij}见表5。

效益函数$f_{ij}^1(\ ) = \lambda \cdot (a_{ij} + b_{ij} + c_{ij})$中，$\lambda$为效益系数，这里取4。计算各个地区的授权专利产出能力指数、科技论文产出能力和科技成果产出能力，结果如表6所示。

由表6中各地区的成果产出能力，可计算出需求方的共享产出能力，结果如表7所示。

需求方的成本系数θ_{ij}见表8。

将上述参数带入模型，则上层规划模型为：

表3　华东各地区生物和医药领域大型科学仪器资源共享量和需求量

单位：小时台

	1	2	3	4	5	合计
X_i	28298	60200	—	—	—	88498
Q_j	244851	511556	179277	1083603	658852	2678139

表4　共享固定成本

供给方	α_1	α_2	α_3	α_4	α_5
成本	22.8	49.7	26.1	121.3	63.1

表5　单位机时服务成本

β_{ij}	1	2	3	4	5
1	0.118	0.020	0.089	0.066	0.059
2	0.087	0.122	0.200	0.112	0.087

表6　各地区成果产出能力

需求方	1	2	供给方	1	2	3	4	5
a_i	1.000	0.323	a_j	0.119	1.000	0.420	0.545	0.659
b_i	1.000	0.260	b_j	0.229	1.000	0.494	0.608	0.365
c_i	1.000	0.271	c_j	0.145	0.823	1.000	0.334	0.323

表7　共享的成果产出能力

授权专利合作产出能力				科技论文合作产出能力				科技成果奖励合作产出能力			
a_{11}	0.119	a_{21}	0.038	b_{11}	0.229	b_{21}	0.060	c_{11}	0.145	c_{21}	0.039
a_{12}	1.000	a_{22}	0.323	b_{12}	1.000	b_{22}	0.260	c_{12}	0.823	c_{22}	0.223
a_{13}	0.420	a_{23}	0.136	b_{13}	0.494	b_{23}	0.128	c_{13}	1.000	c_{23}	0.271
a_{14}	0.545	a_{24}	0.176	b_{14}	0.608	b_{24}	0.158	c_{14}	0.334	c_{24}	0.090
a_{15}	0.659	a_{25}	0.213	b_{15}	0.365	b_{25}	0.095	c_{15}	0.323	c_{25}	0.087

表8　需求方成本系数

θ_{ij}	1	2	3	4	5
1	0.005	0.001	0.004	0.003	0.003
2	0.005	0.004	0.009	0.005	0.004

$$\min F_1 = (22.8z_1 + 49.7z_2 + 26.1z_3 + 121.3z_4 + 63.1z_5) + 0.118x_{11} + 0.020x_{12} + 0.089x_{13} + 0.066x_{14} + 0.059x_{15} + 0.087x_{21} + 0.122x_{22} + 0.200x_{23} + 0.112x_{24} + 0.087x_{25}$$

下层规划模型为：

$$\max F_2 = 1.967x_{11} + 11.219x_{12} + 7.652x_{13} + 5.945x_{14} + 5.385x_{15} + 0.543x_{21} + 3.220x_{22} + 2.131x_{23} + 1.691x_{24} + 1.576x_{25}$$

约束条件为：

$$\begin{cases} z_1 + z_2 + z_3 + z_4 + z_5 \geqslant 1 \\ x_{11} \cdot z_1 + x_{12} \cdot z_2 + x_{13} \cdot z_3 + x_{14} \cdot z_4 + x_{15} \cdot z_5 = 28298 \\ x_{21} \cdot z_1 + x_{22} \cdot z_2 + x_{23} \cdot z_3 + x_{24} \cdot z_4 + x_{25} \cdot z_5 = 60200 \\ x_{11} + x_{21} \leqslant 244851 \\ x_{12} + x_{22} \leqslant 511556 \\ x_{13} + x_{23} \leqslant 179277 \\ x_{14} + x_{24} \leqslant 1080603 \\ x_{15} + x_{25} \leqslant 658852 \\ x_{ij} \geqslant 0 \\ 0 \leqslant z_j \leqslant 1 \end{cases}$$

最终求得的共享匹配双方的大型科学仪器资源共享量为：

$$X = \begin{bmatrix} 0 & 28298 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 60200 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

上述结果表明，最终的共享需求匹配方案为供给方 2 向需求方 1 和需求方 2 提供全部共享设备机时，同时说明供给方 2 和需求方 1 和需求方 2 之间应加强合作和仪器资源共享，在总消耗最小的基础上最大程度发挥华东地区现有仪器资源的作用。

4 政策建议

本文用双层规划模型定量地研究了大型科学仪器设备的共享问题，充分考虑了管理部门、设备供给方以及需求方的全局利益，使模型在实际中更具有参考价值。但模型仅在理想状态下考虑，所以本节提出以下针对性建议。

科研管理部门要不断提高仪器设备管理水平，使共享模式制度化，收费标准化，可参考本文以设备利用率为基础的双层规划模型，在今后设备资源配置研究时，根据区域特征，确立多种不同的共享模式。同时，随着信息化程度提高，要不断完善通过互联网直接获取可用的仪器设备状态信息的技术，仪器设备资源的共享可以依据信息系统的仪器设备利用情况进行，实现仪器设备信息资源的利用与共享，提高设备利用率。此外，共享体现的是社会效益，但有时对某个仪器拥有单位却不一定非常有利，导致部分单位加入共享平台的积极性并不高，进而影响设备利用，因此，可以考虑从制定法律法规等方面增强执行力度。

参考文献

[1] 徐冠华.加强科技资源研究促进科技资源共享[J].中国科技资源导刊, 2008, 40(3): 3−5.DOI: 10.3772/j. issn. 1674 – 1544.2008.03.001.

[2] 关于开展2015年科技基础条件资源调查工作[R]. 2015.

[3] 张世仑, 侯国庆, 黄彦斌, 等. 浅议科技国有资产管理与大型科学仪器设备资源共享机制[J]. 行政事业资产与财务, 2014(16): 14−16.

[4] 赵辉, 齐娜. 科技基础条件资源共享系统结构、功能及环境[J].科技导报, 2007, 25(10): 54−58.

[5] 王海峰, 王晋, 杨丽.首都大型科学仪器设备利用与共享评价初探[J].中国科技论坛, 2014(9): 11−15. DOI: 10.13580/j.cnki.fstc.2014.09.003.

[6] 韩红亮.大型仪器共享系统研究与实现[D].石家庄: 河北师范大学, 2012.

[7] 胡晓萍, 钟叶龙, 徐军明.大型科学仪器设备共享管理方法的研究与实践[J].实验技与管理, 2012(7): 215−217.DOI: 10.16791/j.cnki.sjg.2012.07.065.

[8] 杨丽.近10年来我国大型科学仪器设备共享研究进展与述评[J].中国管理信息化, 2015(4): 108.DOI: 10. 3969/j.issn.1673 − 0194.2015.08.083.