

文章编号: 1674-9669(2014)01-0099-08
DOI: 10.13264/j.cnki.ysjskx.2014.01.020

基于 BP 神经网络的我国铜矿资源需求情景分析

龚婷, 郑明贵

(江西理工大学经济管理学院, 江西 赣州 341000)

摘要:我国铜矿资源虽然较为丰富,但国内铜矿长期处于供不应求的状态,供需矛盾仍十分严峻.在深入分析影响我国铜矿需求的 5 大主要因素的基础上,运用 BP 神经网络,建立了铜矿需求情景分析模型,并利用 1991~2011 年的相关数据进行了测算,得出 2015~2025 年我国铜矿资源需求情景,得到了相应的研究结果.针对我国铜矿资源供给的实际状况,以及设定的全球经济增长率和我国经济增长率的情景,采用了科学的定性定量分析方法,数据来源可靠,结论可信,所得到的 2015~2025 年我国铜矿资源需求情景,具有一定的参考意义.

关键词:铜矿资源;需求;情景分析;BP 神经网络

中图分类号:TD-9 **文献标志码:**A

Demand scenario analysis of China's copper resources based on BP Neural Network

GONG Ting, ZHENG Ming-gui

(School of Economics and Management, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract:The copper resources have long been in short supply in China in spite of China's relatively abundant copper reserve. This paper establishes the copper demand scenario model with BP Neural Network based on the analysis of the five major factors affecting the copper resources demand. The copper demand scenario from 2015 to 2025 is forecasted by using the data from 1991 to 2011. Qualitative and quantitative analysis methods used in the research makes the conclusion reliable. The copper demand scenarios from 2015 to 2025 is analyzed on the basis of the actual state of supply and demand of copper resources in China by setting the global and domestic economic growth rates.

Key words:copper resources; demand; cenario analysis, BP Neural Network

铜行业是国民经济的基础产业,铜广泛地用在轻工、电气、建筑、国防、能源、机械制造等各个工业领域^[1],是我国经济发展中无可替代的重要原料.铜不仅消费面广,而且与国民经济的增长密切相关.因此,分析我国铜矿资源未来的需求情景对合理开发利

用国内外铜矿资源具有重要的战略意义.

1 世界铜矿资源概况

世界铜矿资源的特点有:总量丰富,但分布集

收稿日期:2013-10-29

基金项目:教育部人文社会科学研究规划基金项目(12YJA790208)

作者简介:龚婷(1988-),女,硕士研究生,主要从事国际贸易学、矿业技术经济等方面的研究,E-mail: gongting19880318@163.com.

通信作者:郑明贵(1978-),男,博士,副教授,主要从事矿业技术经济等方面的研究,E-mail:mgz268@sina.com.

中,主要分布在北美、拉丁美洲和中非三地^[2];成矿类型多样化;储量和储量基础总体成增长态势^[3];潜力巨大,保证程度较高^[4].美国地质调查局公布,截至 2012 年底,全球铜储量为 6.80 亿 t.储量最多的国家依次是智利、澳大利亚、秘鲁、墨西哥、美国;再次是中国、俄罗斯、印度尼西亚、波兰、刚果、赞比亚、加拿大和哈萨克斯坦.见表 1.

表 1 2012 年世界铜矿资源储量分布

国家或地区	储量 /万 t	占比例 /%
美国	3 900	5.15
澳大利亚	8 600	12.65
加拿大	1 000	1.47
智利	19 000	27.94
中国	3 000	4.41
刚果(金)	2 000	2.94
印度尼西亚	2 800	4.12
哈萨克斯坦	700	1.03
墨西哥	3 800	5.59
秘鲁	7 600	11.18
波兰	2 600	3.82
俄罗斯	3 000	4.41
赞比亚	2 000	2.94
其他国家	8 000	11.76
世界总计	68 000	100.00

注:数据来源于美国地质调查局.

2 我国铜矿产资源概况及需求情景分析

2.1 我国铜矿产资源概况及供需现状分析

2.1.1 我国铜矿产资源概况

根据 2009 年全国矿产资源储量通报,截止 2009 年底,中国有 1 607 个铜矿区.我国铜矿产资源分布不均匀,主要集中在江西、西藏和云南,其总查明的铜资源储量占全国的 51 %.截至 2011 年底,我国已探明铜资源储量 3 000 万 t,占全球储量的 4.37 %.我国大多数铜矿山储量已大幅度减少,有的甚至接近枯竭.我国铜矿品位较低,均值在 0.87 %左右,而主要的斑岩型铜矿平均品位仅为 0.55 %,远低于智利和秘鲁的 1 %和 1.6 %的水平^[5].因此,我国铜矿产资源并没有优势,铜矿品位较低,国际竞争力较弱,给我国铜产业带来了困难.

2.1.2 我国铜矿产资源供需现状分析

2000 年以前,我国精炼铜基本保持产销平衡.2001 年以后,产销缺口就逐年增大^[6].1991 年到 2012 年间,产销差从顺差 10.4 万 t 增大到逆差 263.5 万 t,增大了 26 倍多,见表 2.我国铜资源一直处于供不应求的状态.根据 2012 年中国矿产资源报告,2011 年铜的对外依存度仍然居高不下,达到了 71.4 %^[7].我国铜供需变化总体规律见图 1.

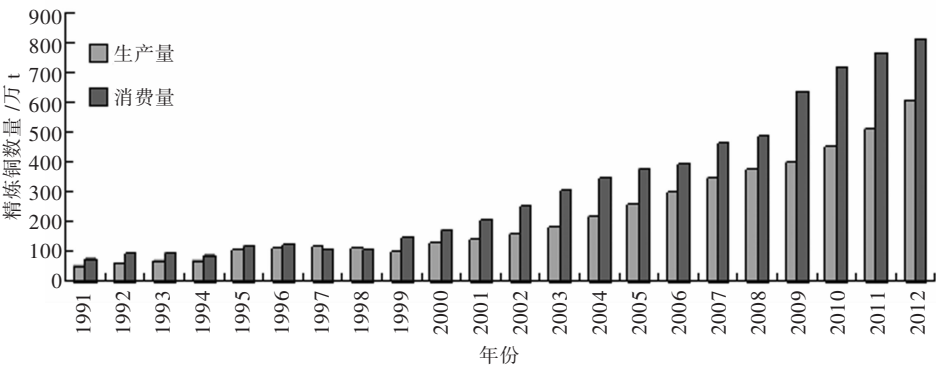


图 1 1991~2012 年中国精炼铜供需走势图

(1)我国铜矿产资源生产现状分析.我国生产精炼铜的主要省区有江西、山东、安徽、甘肃、湖北、云南、浙江、江苏、内蒙古和河北,2010 年这 10 个省区的总产量达到了 407.65 万 t,占全国总产量的 89.78 %^[8].1991~2012 年间,我国精炼铜的生产量几乎呈持续增长的态势.尤其是 2009 年同比增长了 6.4 %,首次突破 400 万 t,占世界总产量的 22.1 %.2012 年精炼铜的产量达到了 606.0 万 t,同比增长 17.9 %.2000~2012 年间中国精炼铜产量年均增长率为 14.9 %.见

表 2.

(2)我国铜矿产资源消费现状分析.中国铜消费量总体呈现跳跃式增长态势.在 1998~2012 年的 15 年期间,中国精炼铜消费量年均增长率为 14.8 %,见表 2.近 20 年来我国工业化、城市化进程的加快致使铜需求量的增长速度远远超过国内铜供给的增速^[9].因此,在我国实现工业化之前,精炼铜消费的快速增长还将持续,我国对铜的需求仍有很大的增长空间,国内铜工业原料的保障问题仍十分严峻.

表 2 1991~2012 年中国精炼铜供需情况

年份	生产量 /万 t	生产量同比增长率 /%	消费量 /万 t	消费量同比增长率 /%	产销差 /万 t
1991	56.0	1.0	79.0	1.0	-23.0
1992	65.9	17.7	99.0	25.3	-33.1
1993	73.0	10.8	99.0	0.0	-26.0
1994	73.6	0.8	91.0	-8.1	-17.4
1995	108.0	46.7	120.0	31.9	-12.0
1996	111.9	3.6	125.0	4.2	-13.1
1997	117.9	5.4	107.5	-14.0	10.4
1998	115.2	-2.3	110.1	2.4	5.1
1999	101.1	-12.2	147.0	33.5	-45.9
2000	133.1	31.7	175.0	19.0	-41.9
2001	142.5	7.1	208.3	19.0	-65.8
2002	163.3	14.6	255.7	22.8	-92.4
2003	183.6	12.4	305.6	19.5	-122.0
2004	219.9	19.8	346.8	13.5	-126.9
2005	260.0	18.2	379.4	9.4	-119.4
2006	300.3	15.5	395.4	4.2	-95.1
2007	349.7	16.5	465.8	17.8	-116.1
2008	377.9	8.1	489.0	5.0	-111.1
2009	401.9	6.4	637.8	30.4	-235.9
2010	456.7	13.6	720.2	12.9	-263.5
2011	514.0	12.5	762.7	5.9	-248.7
2012	606.0	17.9	811.5	6.4	-205.5

注:1991~2001 年的数据来自 WBMS(世界金属统计局),2002~2012 年数据来自 CRU.

2.2 我国铜矿产资源需求情景分析

2.2.1 影响铜矿产资源需求的主要因素分析

(1)全球经济增长趋势.2004~2007 年,全球经济持续高速增长.受 2008 年金融危机的影响,增速迅速

放缓,2009 年竟为-0.7 %,出现了 1991 年以来的首次负增长.2010 年全球经济复苏较快,增长率达到 5.1 %,见图 2. 2011 年金融危机继续蔓延,使全球经济陷入了艰难复苏的阶段.

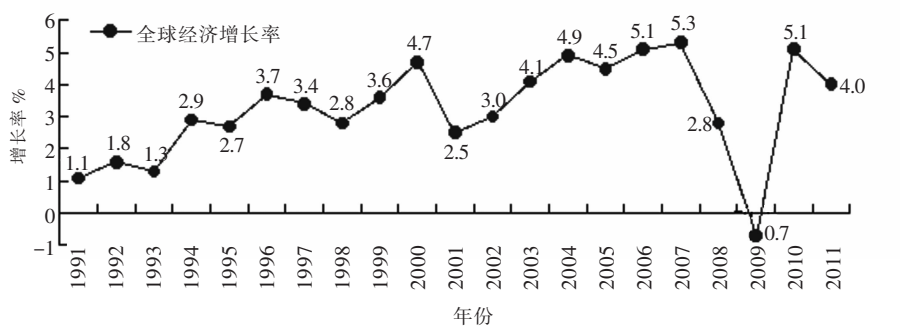


图 2 1991~2011 年全球经济增长率

注:数据来源:国家统计局网站.

(2)我国经济增长趋势.改革开放以来,中国 GDP 年均增长率接近 10 %^[10].1991~2012 年间 GDP 的年均增长率为 9.82 %,见图 3. 国家统计局初步核算,2012 年中国 GDP 增长率为 7.8 %.长期看,我国在实现工业化之前还需保持 8 %左右的正常增长,而非 10 %以上的高速增长,因为我国正处在经济增长的重要转换阶段^[11].我国经济的高速增长直接带动了我国对铜矿产资源的需求.

(3)我国铜消费量趋势.我国目前对铜的需求量在逐年的增加,即使在 2008 年以后增速依然明显,

见图 4. 工业化结束之前我国铜消费量的快速增长还将持续,因此,对铜的需求仍有很大的增长空间.我国未来的铜消费量取决于我国经济的发展程度.

(4)我国单位 GDP 能耗趋势.我国经济的持续高速增长带来的主要问题为“三高五低”的经济发展方式,导致我国过多依赖资源和能源.虽然我国单位 GDP 能耗总体呈下降态势,见图 5,但明显高于发达国家.单位 GDP 能耗只与能源消费总量和 GDP 有关,而我国能源消费总量与我国经济发展程度有强烈的相关性.

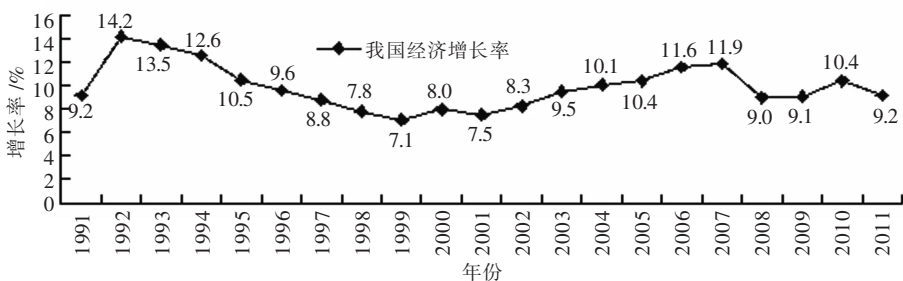


图 3 1991~2011 年我国经济增长率

注:数据来源于《中国统计年鉴(1992~2012 年)》。

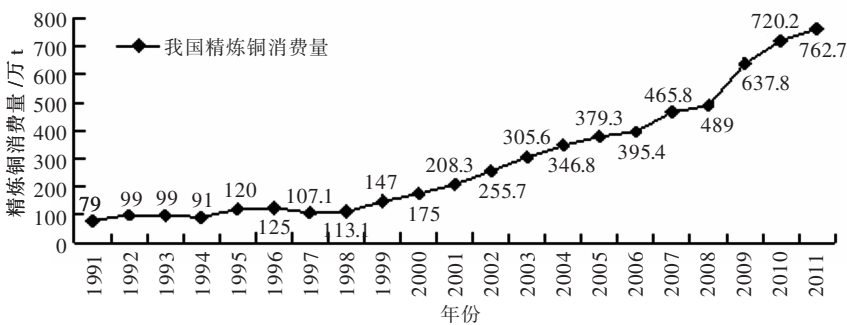


图 4 1991~2011 年我国精炼铜消费量

注:数据来源于 WBMS(世界金属统计局)和 CRU.

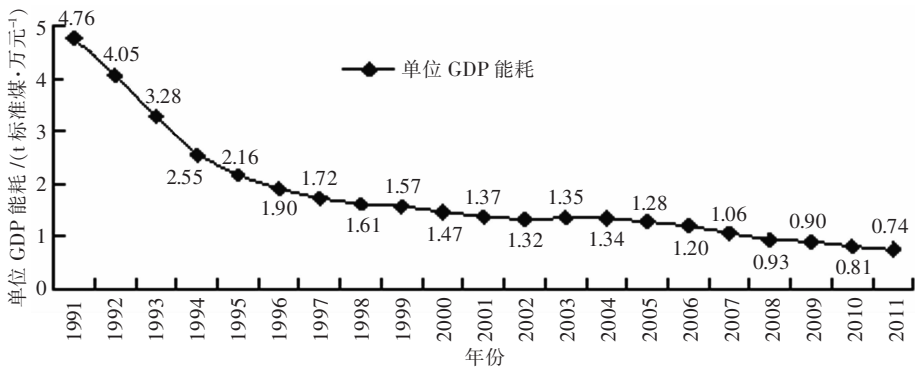


图 5 1991~2011 年单位 GDP 能耗

注:数据来源于国家统计局网站.

(5)国际铜价趋势.2003 年以前国际铜价较低,2003 年以后因全球经济复苏而飙升,2009 年因国际金融危机而下降,2010 年因危机缓解而上升,见图 6^[12-14].需求方面,中国依然是世界铜需求的主力,其他国家对中国资源和能源消费存在抗拒,近年来全球几乎所有的资源性产品的价格都成倍增长,因此国际铜价和我国对铜资源的总需求在某种程度上相互影响;供给方面,部分项目的产能增速在未来将上升^[12].全球经济复苏程度和全球铜资源供需等是影响国际铜价

的重要因素.

2.2.2 铜矿需求情景定义

将以上分析的 5 个因素作为铜矿需求情景定义的主要驱动变量,设置以下 3 个情景:

情景 A(高情景):未来十几年全球经济快速增长,对铜的需求量远大于其产量.我国经济快速发展,对铜的需求快速增长,资源使用效率明显提高,单位 GDP 能耗明显下降.

情景 B(基础情景):未来十几年全球经济稳定增

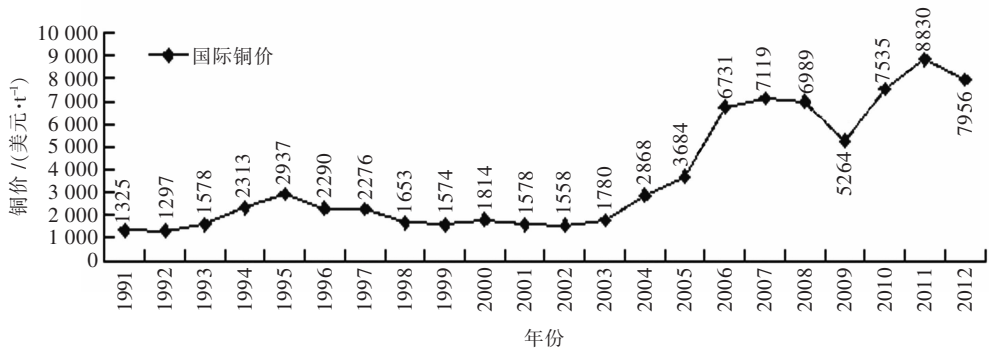


图 6 1991~2012 年国际铜价走势图

长,但幅度不大,铜的需求与供给基本保持平衡.我国
经济平稳发展,对铜的需求持续增长,资源的使用效
率有所提高,单位 GDP 能耗也有所下降.

情景 C (低情景): 未来十几年全球经济持续低
迷,全球铜供给大于需求.我国经济减速增长,但幅
度不大,对铜的需求增长稳定,资源的使用效率提高
的不明显,单位 GDP 能耗下降也不明显.

2.2.3 铜矿需求宏观情景设定

(1)全球经济增长趋势的设定.全球经济增长的
情景设置见表 3.

表 3 全球经济增长率的情景设置 /%

情景	增长率		
	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	3.5	4.0	4.5
情景 B	3.0	3.5	4.0
情景 C	2.5	3.0	3.0

(2)我国经济增长趋势设定.我国经济增长率的
情景设置见表 4.

表 4 我国经济增长率的情景设置 /%

情景	增长率		
	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	9.0	9.0	8.5
情景 B	8.0	8.0	7.5
情景 C	7.0	7.0	6.5

(3)我国铜消费量趋势设定.据国家统计局公告,
我国 2012 年 GDP 为 519 322 亿元. 以 2012 年为基
准年,根据表 4 算出的我国 GDP 情景设置见表 5.

根据 1991 年到 2011 年我国 GDP 和我国铜消费
量的历史数据, 利用 Eview 3.1 对我国铜消费量和
GDP 进行了回归,修正后的方程如下:

表 5 我国 GDP 情景设置 (以 2012 年为基准年)

情景	项目	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	增长率 /%	9.0	9.0	8.5
	GDP /亿元	672 537.050 3	1 034 781.616 1	1 555 956.299 9
情景 B	增长率 /%	8.0	8.0	7.5
	GDP /亿元	654 196.155 3	961 228.778 7	1 379 968.223 9
情景 C	增长率 /%	7.0	7.0	6.5
	GDP /亿元	636 191.780 8	892 291.883 2	1 222 517.209 0

$\ln Y = -5.494\ 019 + 0.928\ 462 \ln X \quad R^2 = 0.968\ 6$

$(-3.308) \quad (6.801)$

$F = 261.909$

式(1)中: Y 为我国铜消费量; X 为我国 GDP.

根据表 5 和式(1)得出我国铜消费量的情景设置

(1) 见表 6.

表 6 我国铜消费量情景设置

情景	项目	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	我国 GDP 总量 /亿元	672 537.050 3	1 034 781.616 1	1 555 956.299 9
	我国铜消费量 /万 t	1 058.7	1 579.6	2 306.8
情景 B	我国 GDP 总量 /亿元	654 196.155 3	961 228.778 7	1 379 968.223 9
	我国铜消费量 /万 t	1 031.9	1 475.0	2 063.5
情景 C	我国 GDP 总量 /亿元	636 191.780 8	892 291.883 2	1 222 517.209 0
	我国铜消费量 /万 t	1 005.5	1 376.6	1 844.0

(4)我国单位 GDP 能耗趋势设定.根据 1991 年到 2011 年我国 GDP 和我国能源消费总量的历史数据,利用 Eview 3.1 对我国能源消费总量和 GDP 进行了回归,修正后的方程如下:
$$\ln Y=6.215\ 345+0.501\ 208\ln X\quad R^2=0.996\ 1$$

(10.387) (10.161)

$F=1\ 304.660$

(2)

式(2)中: Y 为我国能源消费总量; X 为我国 GDP.

根据表 5 和式(2)得出我国能源消费总量的情景设置见表 7.

根据表 5 和表 7 得出我国铜消费量的情景设置见表 8.

表 7 我国能源消费总量的情景设置

情景	项目	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	我国 GDP 总量 /亿元	672 537.050 3	1 034 781.616 1	1 555 956.299 9
	我国能源消费总量 /万 t 标准煤	417 049.903 6	517 583.384 4	634 992.604 3
情景 B	我国 GDP 总量 /亿元	654 196.155 3	961 228.778 7	1 379 968.223 9
	我国能源消费总量 /万 t 标准煤	411 310.129 9	498 804.857 1	597 917.881 2
情景 C	我国 GDP 总量 /亿元	636 191.780 8	892 291.883 2	1 222 517.209 0
	我国能源消费总量 /万 t 标准煤	405 597.059 7	480 542.407 9	562 692.247 0

表 8 我国单位 GDP 能耗情景设置 /(t 标准煤·万元⁻¹)

情景	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	0.62	0.50	0.41
情景 B	0.63	0.52	0.43
情景 C	0.64	0.54	0.46

(5)国际铜价趋势设定.根据相关的测算得出,国际铜价在近年的增长率见表 9.

根据图 6 和表 9 得出国际铜价的情景设置见表 10.

表 9 近年国际铜价增长率

项目	1991~1995 年	1996~2000 年	2001~2005 年	2006~2010 年
平均增长率	22.0 %	-5.7 %	23.6 %	2.9 %

表 10 国际铜价情景设置

项目	2015 年	2020 年	2025 年
国际铜价增长率 /%	8	9	9
情景 A /(美元·t ⁻¹)	12 013.12	16 957.50	23 936.89
国际铜价增长率 /%	7	8	8
情景 B /(美元·t ⁻¹)	11 574.33	15 746.75	21 423.27
国际铜价增长率 /%	5	6	6
情景 C /(美元·t ⁻¹)	10 732.92	13 550.06	17 106.64

2.2.4 需求情景分析模型与测算

(1)神经网络的结构.利用 BP 人工神经网络对未来我国铜矿产资源需求情景进行测算^[15],构造一个 3 层的多输出神经网络:

(a)输入神经元:全球经济增长率(I_1)、我国经济增长率(I_2)、我国铜消费量(I_3)、我国单位 GDP 能耗(I_4)、国际铜价(I_5).

(b)输出神经元:铜矿进口需求量(O_1)、铜矿需求

总量(O_2).

(c)隐蔽层神经元数目 $n=5$.其确定原则是:小于输入与输出神经元数目之和,大于输入与输出神经元数目之和的一半.

(2)原始数据及其初始化.在进行测算前,要把输入和输出的原始数据(见表 11)进行初始化,使数值在[0,1]之间^[16].初始化后的数据见表 12.

(3)模型测算与结果分析.根据表 3、表 4、表 6、表 8

表 11 原始数据

年份	全球经济增长率 /%	我国经济增长率 /%(以 2000 年为基准年)	我国铜消费量 /万 t	单位 GDP 能耗 /(t 标准煤·万元 ⁻¹)	国际铜价 /(美元·t ⁻¹)	铜矿进口需求量 /万 t	铜矿需求总量 /万 t
1991	1.1	9.2	79.0	4.76	1 325.11	10.1	66.1
1992	1.6	14.2	99.0	4.05	1 297.09	26.1	92
1993	1.3	13.5	99.0	3.28	1 578.15	25.4	98.4
1994	2.9	12.6	91.0	2.55	2 312.73	7.2	80.8
1995	2.7	10.5	120.0	2.16	2 936.52	10.2	118.2
1996	3.7	9.6	125.0	1.90	2 290.46	15.0	126.9
1997	3.4	8.8	107.5	1.72	2 275.73	8.8	126.7
1998	2.8	7.8	110.1	1.61	1 652.88	26.8	142.0
1999	3.6	7.1	147.0	1.57	1 573.66	54.8	155.9
2000	4.7	8.0	175.0	1.47	1 814.26	81.2	214.3
2001	2.5	7.5	208.3	1.37	1 577.77	95.4	237.9
2002	3.0	8.3	255.7	1.32	1 557.50	118.1	281.4
2003	4.1	9.5	305.6	1.35	1 779.87	135.7	319.3
2004	4.9	10.1	346.8	1.34	2 868.34	120.0	339.9
2005	4.5	10.4	379.4	1.28	3 683.64	122.2	382.2
2006	5.1	11.6	395.4	1.20	6 730.60	82.7	383.0
2007	5.3	11.9	465.8	1.06	7 118.53	149.6	499.3
2008	2.8	9.0	489.0	0.93	6 989.00	145.8	523.7
2009	-0.7	9.1	637.8	0.90	5 264.18	318.5	720.4
2010	5.1	10.4	720.2	0.81	7 534.62	269.0	725.7
2011	4.0	9.2	762.7	0.74	8 830.00	283.6	797.6

表 12 神经网络训练值

年份	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5	O_1	O_2
1991	0.300	0.613	0.033	0.952	0.055	0.013	0.022
1992	0.371	0.947	0.041	0.810	0.054	0.033	0.031
1993	0.329	0.900	0.041	0.656	0.066	0.032	0.033
1994	0.557	0.840	0.038	0.510	0.096	0.009	0.027
1995	0.529	0.700	0.050	0.432	0.122	0.013	0.039
1996	0.671	0.640	0.052	0.380	0.095	0.019	0.042
1997	0.629	0.587	0.045	0.344	0.095	0.011	0.042
1998	0.543	0.520	0.046	0.322	0.069	0.034	0.047
1999	0.657	0.473	0.061	0.314	0.066	0.069	0.052
2000	0.814	0.533	0.073	0.294	0.076	0.102	0.071
2001	0.500	0.500	0.087	0.274	0.066	0.119	0.079
2002	0.571	0.553	0.107	0.264	0.065	0.148	0.094
2003	0.729	0.633	0.127	0.270	0.074	0.170	0.106
2004	0.843	0.673	0.145	0.268	0.120	0.150	0.113
2005	0.786	0.693	0.158	0.256	0.153	0.153	0.127
2006	0.871	0.773	0.165	0.240	0.280	0.103	0.128
2007	0.900	0.793	0.194	0.212	0.297	0.187	0.166
2008	0.543	0.600	0.204	0.186	0.291	0.182	0.175
2009	0.043	0.607	0.266	0.180	0.219	0.398	0.240
2010	0.871	0.693	0.300	0.162	0.314	0.336	0.242
2011	0.714	0.613	0.318	0.148	0.368	0.355	0.266

和表 10,利用 BP 软件分别对各个情景进行计算,得出 的中国未来铜矿的需求情景见表 13.

表 13 中国未来铜矿的需求情景 /万 t

情景	指标	2015 年	2020 年	2025 年
情景 A	需求总量	1 050.5	1 563.1	2 083.5
	进口量	435.8	672.5	890.7
情景 B	需求总量	984.2	1 431.0	1 899.3
	进口量	409.3	617.6	819.1
情景 C	需求总量	932.7	1 332.0	1 748.4
	进口量	393.8	589.0	785.8

由表 13 可知，在未来的十几年内我国对铜矿产资源的需求是有增无减的，进口依存度将达到近 50 %，国内铜供给无法满足巨大的铜需求。因此，积极合理地开发利用海外铜矿产资源，建立海外铜矿产资源战略储备，是保障我国经济建设健康发展的必然选择。

3 结 论

通过上述的研究，得出的主要结论如下：

(1)分析了世界铜矿产资源概况和我国铜矿产资源供需现状，得出我国持续增长的铜产量无法满足巨大的铜消费量，铜矿长期处于供不应求的状态，供需矛盾十分严峻。

(2)分析了影响铜矿需求的因素，以全球经济增长率、我国经济增长率、我国铜消费量、我国单位 GDP 能耗和国际铜价作为铜矿需求情景定义的驱动变量，并设置了 3 个情景。

(3)建立了基于 BP 神经网络的铜矿需求情景分析模型，测算结果表明：中国未来铜矿产资源的进口依存度将接近 50 %，国内铜供给无法与巨大的铜需求相匹配。

参考文献：

[1] 刘小舟.我国重要有色金属资源——铜矿的现状 & 展望[J].西北地

质,2007(1):83-88.
[2] 高永璋,张寿庭.中国铜矿产资源主要特点[J].矿床地质,2010(s1):773-774.
[3] 陈甲斌.2008 年世界铜资源供需形势分析[J].西部资源,2009(3):10-12.
[4] 曹昇生.世界铜资源开发与我国海外办铜展望[J].中国金属通报,2006(8):5-10.
[5] 张方方,王建平,王银宏.试析中国铜产业存在的问题与对策建议[J].中国矿业,2013(2):10-13.
[6] 张华,鹿爱莉,胡德文,等.中国铜矿资源实施全球化战略研究[J].中国矿业,2003(7):5-9.
[7] 吴强华,崔荣国.我国矿产品供应能力增强[J].国土资源,2012(11):52-53.
[8] 周平,唐金荣,施俊法,等.铜资源现状与发展态势分析[J].岩石矿物学杂志,2012(5):750-756.
[9] 张峰,马洪云,沙景华.基于情景分析法的 2020 年我国铜资源需求预测[J].资源与产业,2012(4):30-35.
[10] 卢锋.中国经济高速增长趋势不会改变[J].当代经济,2008(9):9-10.
[11] 胡乃武,范炳龙.我国未来经济持续快速增长潜力分析[J].经济纵横,2012(8):17-19.
[12] 叶羽钢.铜价总体弱势调整[J].中国有色金属,2013(3):25-26.
[13] 张莓.全球铜资源开发进展及潜在投资区域选择[J].世界有色金属,2010(1):29-31.
[14] 刘方成.世界铜资源形势预测[J].昆明理工大学学报,1999(1):206-210.
[15] 郑明贵,赖亮光.中国铬矿需求情景分析[J].资源与产业,2011(4):43-49.
[16] 郑明贵,谢为.基于 BP 神经网络的我国铁矿资源需求情景分析[J].金属矿山,2013(3):57-61.