

一带一路矿业开发和可持续发展

Sustainable Development for Mining Industry of Silk Road

裴荣富 梅燕雄 李莉 瞿泓滢

中国地质科学院矿产资源研究所

一、“丝绸之路”的地理商贸背景

“丝绸之路”源于中国，但称“路”之名是德国地理学家李希霍芬，在他出访中国发表的“中国旅行纪”一书中提出的。他把公元前114年至公元127年共计两个半世纪由中国开辟的，由西安经西域与中亚以及与印度连接的丝绸贸易之路命名为Seidcustrassen（德文）。该路径跨越100多年的发展可分为路上和海上。路上又分草原丝路、沙漠丝路和西南丝路。海上可分为东海和南海丝绸之路（图1）。

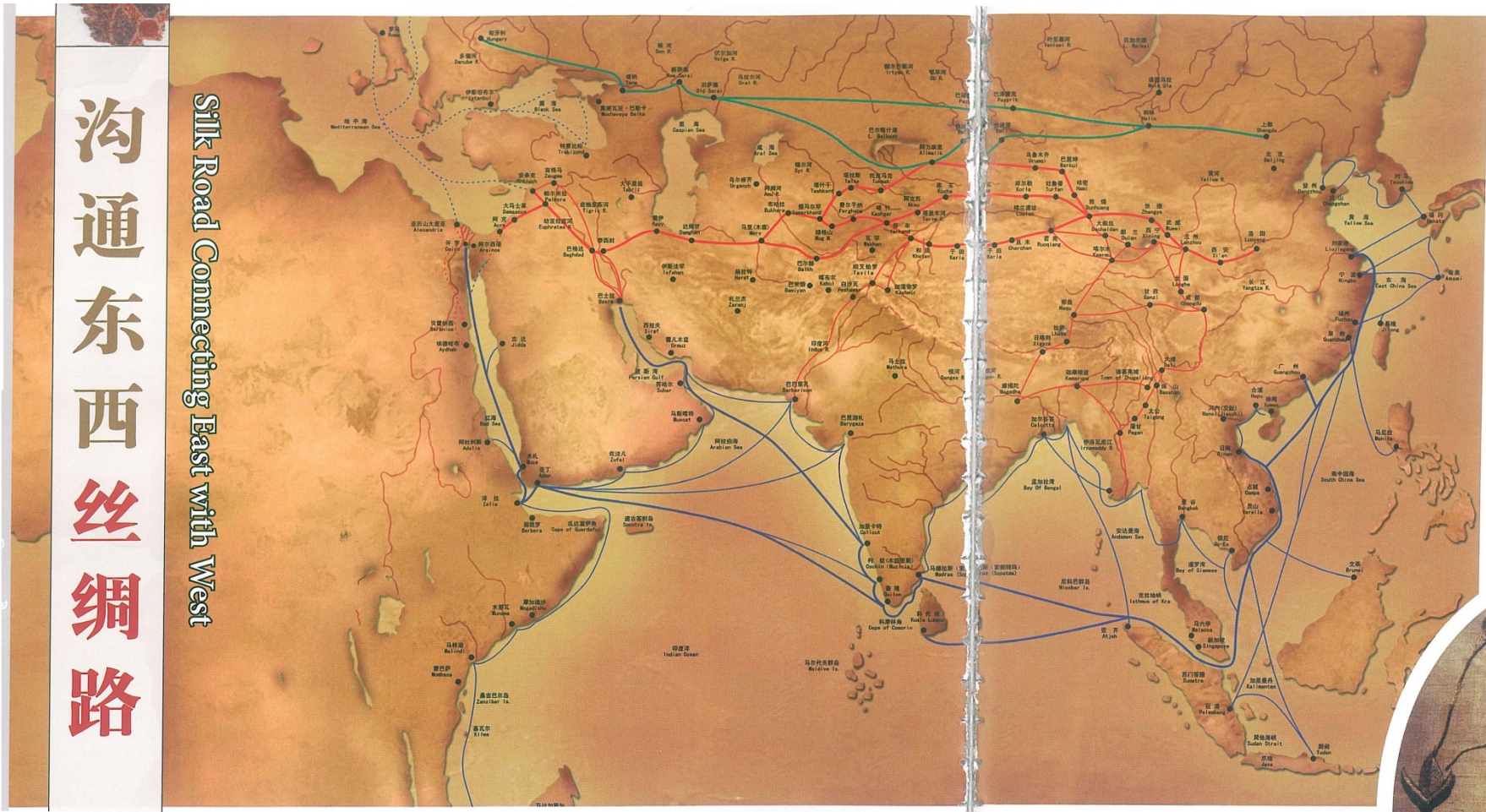


图1 草原（绿色）、沙漠（红色）、海上（蓝色）沟通东西丝绸之路

草原丝绸之路东起蒙古高原大兴安岭，翻越阿尔泰经准格尔盆地至哈萨克或黑海低地贯通欧亚；

沙漠绿洲丝绸之路由长安经河西走廊的敦煌再分南北两路到安息（波斯今伊朗）、大秦（罗马帝国今地中海沿岸）；

海上丝绸之路，除外丝绸还有香料，也称丝香之路。最初为通往朝鲜、日本称东海丝绸之路，继而通往东南亚称南海之路。

上述三条丝路的开通，应是人类文明史和有关国家经济贸易的通道。

中国丝绸的六大代表有：汉晋（图2）、西汉（图3）、唐代（图4）、宋代（图5）、明清（图6、7），海外丝绸的蛊惑（图8、9）。



汉晋 “五星出东方利中国” 锦护臂
1995年出土于新疆尼雅遗址八号墓
现藏于新疆文物考古研究所

图2 汉晋



西汉 素纱禅衣

1972 年出土于湖南长沙马王堆一号汉墓
现藏于湖南省博物馆

它反映了公元前 2 世纪西汉初期中国丝织业的高超技艺。这件衣裳长 160 厘米，通袖长 195 厘米，交领、右衽（音同“任”，rèn）、直裾，它最大的特点是极轻，只有 49 克，拊之不盈一握，折叠后可放入火柴盒中。湖南省博物馆曾委托南京云锦研究所复制一件，但第一件复制出来的作品，重 80 克之多。专家们费尽周折后来终于找到原因：今天的蚕比古时的蚕肥胖，故所吐之丝也要粗得多。为此，专家们只能专门养殖了一种小巧的蚕，使用它的丝，方才织成了 49.5 克的仿制品。

图3 西汉

唐代 绛红罗地蹙金绣半臂
出土于陕西省法门寺地宫
现藏于法门寺博物馆

法门寺地宫出土了武则天等皇室帝胄供奉释迦牟尼佛祖的各类丝织物700多件，几乎囊括了唐代所有的丝绸品类和丝织工艺，为唐代丝绸研究提供了非常珍贵的实物。其中，有五件绛红罗地蹙金绣，包括袈裟、拜垫、褙（音同“兰”，lán，一种上下衣相连的服装）、案裙和半臂，都是为捧真身菩萨特制的微形衣物，也是地宫内保存最完好的丝绸织物。蹙金绣，就是用金丝盘结成各种图案，再固定到丝绸上面。

这五件蹙金绣上所用的缠金线，工艺极其复杂，先要将金丝缠绕在丝线上，每米蚕丝需要缠绕3000圈金丝。



图4 唐代



宋代 灵鹫球路纹锦袍

1956 年出土于新疆与青海交界处阿拉尔
现藏于北京故宫博物院

它于 2013 年被列入《第三批禁止出国（境）展览文物目录》，也是目前北京故宫博物院中的唯一一件北宋丝织物。它的主体花纹是由小联珠环组成大团窠（音同“科”，kē）纹，大团窠纹中有相背引颈而立的神鸟，间饰花树；大团窠纹间隙饰以小团花。神鸟即灵鹫，在古代波斯教被视为灵魂的守护神，生命树象征不朽。独特的构思、华丽的纹样和神秘的宗教气息，彰显着它的异域风情。

图5 宋代



明代云鹤补红罗袍 现藏于山东省博物馆
Red silk robe with crane-patterned Mandarin square of
the Ming Dynasty, collected in the Shandong Museum.

图6 明代



清 乾隆黄纱绣彩云金龙单袍
现藏于北京故宫博物院

清宫传世珍品，是乾隆皇帝吉庆时的礼服。清朝，是历代丝织技艺之集大成者，统治者取一国桑丝之最佳，耗时最长，用一国织工之最能，成就一件天子之衣。此衣的前胸、后背、两肩绣正龙各一，下襟行龙四，里襟行龙一，两袖正龙各一，领边正龙二、行龙三，通身点缀流云飞蝠，下摆饰海水江崖和八宝立水纹。最引人注目的是，它运用了难度最大的双面绣，龙袍正反纹样如一，线头藏没无迹，堪称乾隆盛世刺绣技艺达到巅峰水平的代表作品之一。

图7 清代



海外丝绸的蛊惑

Fascination of Silk

绘于十八世纪三四十年的男子肖像，当时男性服装上出现了东方风格的纹样。
A man's portrait painted in the 1730s and 1740s. Oriental-style patterns appeared on male apparel at that time...

文海照
图海照
编辑 赵学美

图8 海外丝绸



上：《法国国王路易十四的家庭》，1669年让·诺克瑞特作。路易十四（1661~1715年在位）被描绘为阿波罗神。图中的人物均着华丽的丝绸衣服。
Louis XIV of France's Royal Family in 1669. Everyone in the painting wears gorgeous silk clothes.

下：1667年，柯尔贝向路易十四介绍皇家科学院成员，17世纪法国画家夏尔·勒·布朗绘，现藏于法国凡尔赛宫。
Colbert is introducing to Louis XIV of France members of the Academie Royale des Sciences in 1667, painted by 17th-century French painter Charles Le Brun (1619-1690) and collected in the Versailles Palace, France.



图9 海外丝绸

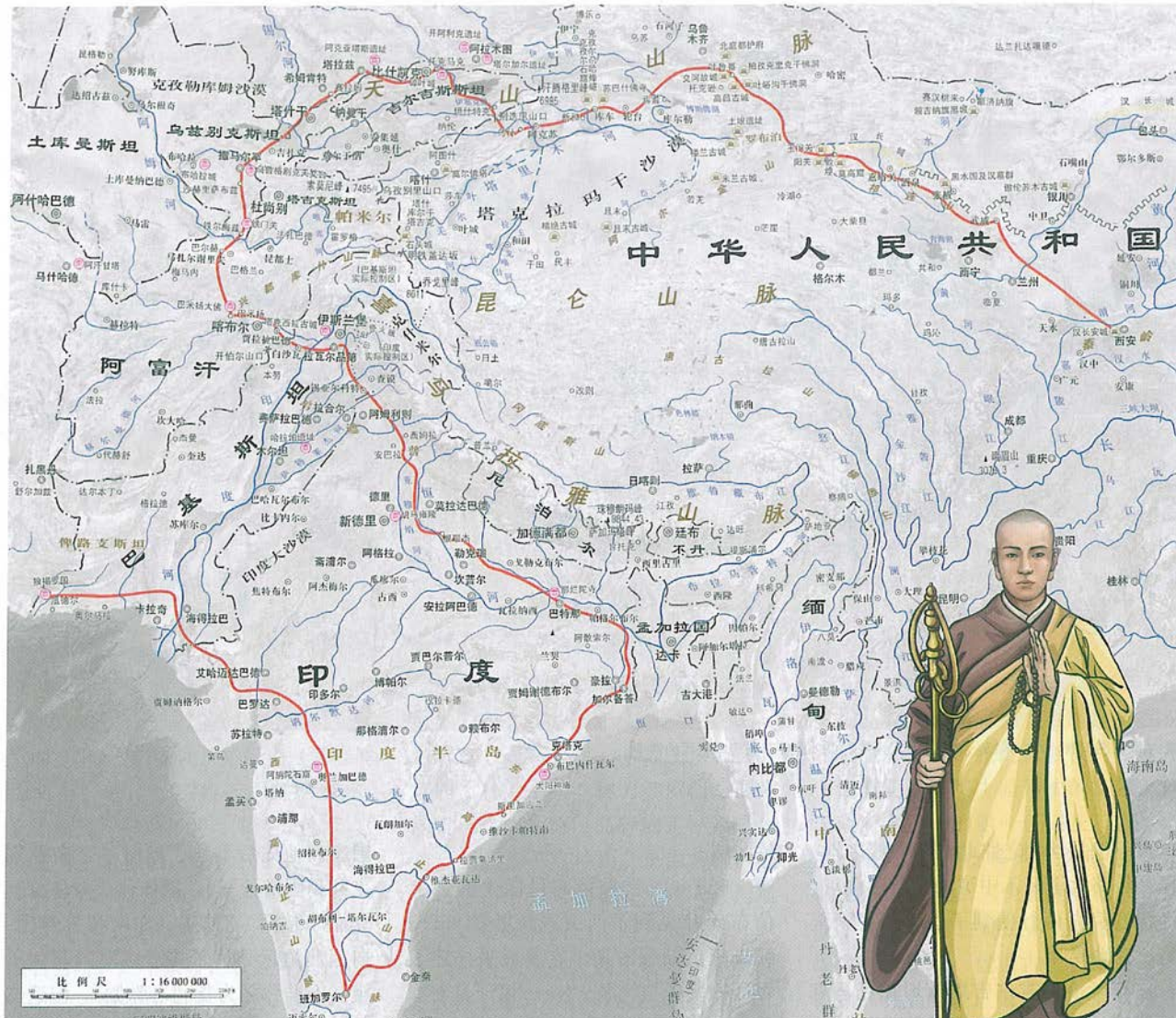
古代史上还有中国张骞出使西域（图10）、玄奘取经印度（图11）和元朝扩张领土（图12）等政治、宗教的开发。



西汉张骞西行主要路线示意图。红色实线为其第一次西行路线，虚线为回程路线；绿色实线为其第二次西行路线



图10 张骞出行路线



唐代高僧玄奘西行主要路线示意图



玄奘

图11 玄奘出行路线



13世纪（元朝）拉班·扫马西行主要路线示意图



拉班·扫马

图12 拉班-扫马出行路线

二、“丝绸之路”矿业开发的基本势态、目标

今日提出的开发丝绸之路应是现代国际间互通有无的现代化发展经济之路，特别是对发展中国家的矿业发展和可持续发展应是当代的创举。

1-基本势态应在满足丝绸之路有关国家当代人的需求，也不危害后代人的发展；

2-目标是供给需求要保证平衡，管理与保护措施要有效，政策与法规要健全，环保与经济发展要协调；

3-主要措施是集约与推动型的资源开发，大力依靠信息化、智能化和深化“认知”（RI）（**Recognized Intellect**）；

4-特别是矿产资源是人类赖以生存的重要物质基础，但也是一种耗竭性的经济地质体；因成矿机率很小，所以必须通过充分研究，不断提高认识其规律，通过合理勘查、开发和加工方能转化为矿产品。

三、“丝绸之路”矿业开发的地质资源背景

我们在世界地质图类委员会（CGMW）主持完成的“1：25M全球大-超大矿成矿图”、“1：25M全球海洋矿产资源图”和“1：10M亚洲成矿图”的基础上，基本掌握了全球四大成矿域、21巨型成矿带、22矿种、1285大-超大矿的成矿规律（图13），并提出全球成矿统一性、不同区域成矿特殊性、大-超大矿成矿偏在性和超巨量金属工业堆积异常性等成矿的新认识，据此，为我们走向一带一路，开发丝路的矿业奠定了宏观地质资源背景。在全球成矿单元的四大成矿域中，包含12个一带一路成矿区带（表1），各成矿区带中产出大-超大型矿床总数达326（表2）。据此，已能为一带一路开发矿业奠定了有利成矿地质资源背景。

表1 全球成矿单元中一带一路成矿带（区）

成矿域	成矿区带
劳亚成矿域	北美成矿区、格陵兰成矿区、欧洲成矿区、乌拉尔-蒙古成矿带、西伯利亚成矿区、中朝成矿区
特提斯成矿域	加勒比成矿带、地中海成矿带、西亚成矿带、喜马拉雅成矿带、中南半岛成矿带
环太平洋成矿域	北科迪勒拉成矿带、安第斯成矿带、楚科奇-鄂霍茨克成矿带、东亚成矿带、伊里安-新西兰成矿带
冈瓦纳成矿域	南美成矿区、非洲-阿拉伯成矿区、印度成矿区、澳大利亚成矿区、南极成矿区

表中红体字区带为一带一路成矿带。

表2 大型超大型矿床在不同成矿单元中12个一带一路成矿带（区）的分布数量统计表

成矿域	成矿区带	大型超大型矿床数量(个)	主要矿床类型	主要成矿时代
劳亚成矿域 (129)	乌拉尔-蒙古成矿带	45	沉积型天然气矿床、沉积型煤矿床、沉积型锰矿床、蒸发岩型钾盐矿床、BIF型铁矿床、铜镍硫化物矿床、沉积型磷矿床、沉积型石油矿床和热液型铌矿床	古生代、中生代和元古宙
	北美成矿区	33		
	欧洲成矿区	22		
	西伯利亚成矿区	15		
	中朝成矿区	13		
	格陵兰成矿区	1		
特提斯成矿域 (64个)	地中海成矿带	29	砂锡矿床、蒸发岩型钾盐矿床、红土型铝土矿矿床和热液型汞矿床	新生代及中生代
	中南半岛成矿带	16		
	西亚成矿带	13		
	加勒比成矿带	4		
	喜马拉雅成矿带	2		
环太平洋成矿域 (116个)	北科迪勒拉成矿带	43	斑岩型铜(钼)矿床、斑岩型钼矿床、红土型镍矿床、火山岩型银矿床和火山岩型金矿床	新生代及中生代
	安第斯成矿带	34		
	东亚成矿带	23		
	伊里安-新西兰成矿带	14		
	楚科奇-鄂霍茨克成矿带	2		
冈瓦纳成矿域 (136个)	非洲-阿拉伯成矿区	75	沉积型石油矿床、红土型铝土矿矿床、金伯利岩型金刚石矿床、砂页岩型铜矿床、沉积型天然气矿床、SEDEX型铅锌矿床、BIF型铁矿床、红土型镍矿床和层状杂岩型铬矿床	元古宙、新生代及中生代
	南美成矿区	25		
	澳大利亚成矿区	24		
	印度成矿区	12		
	南极成矿区	0		

表中红体字区带为一带一路成矿带。

在此基础上利用矿床等密度或等量的参数圈出矿聚区，也称矿汇区（**ore cluster**）（图14），同时在矿汇区内选取其中最大密集的和最小时限的部位部署整装勘查工作。建议有关企业跟上，同时有矿产风险勘查基金连接，以利快速突破。

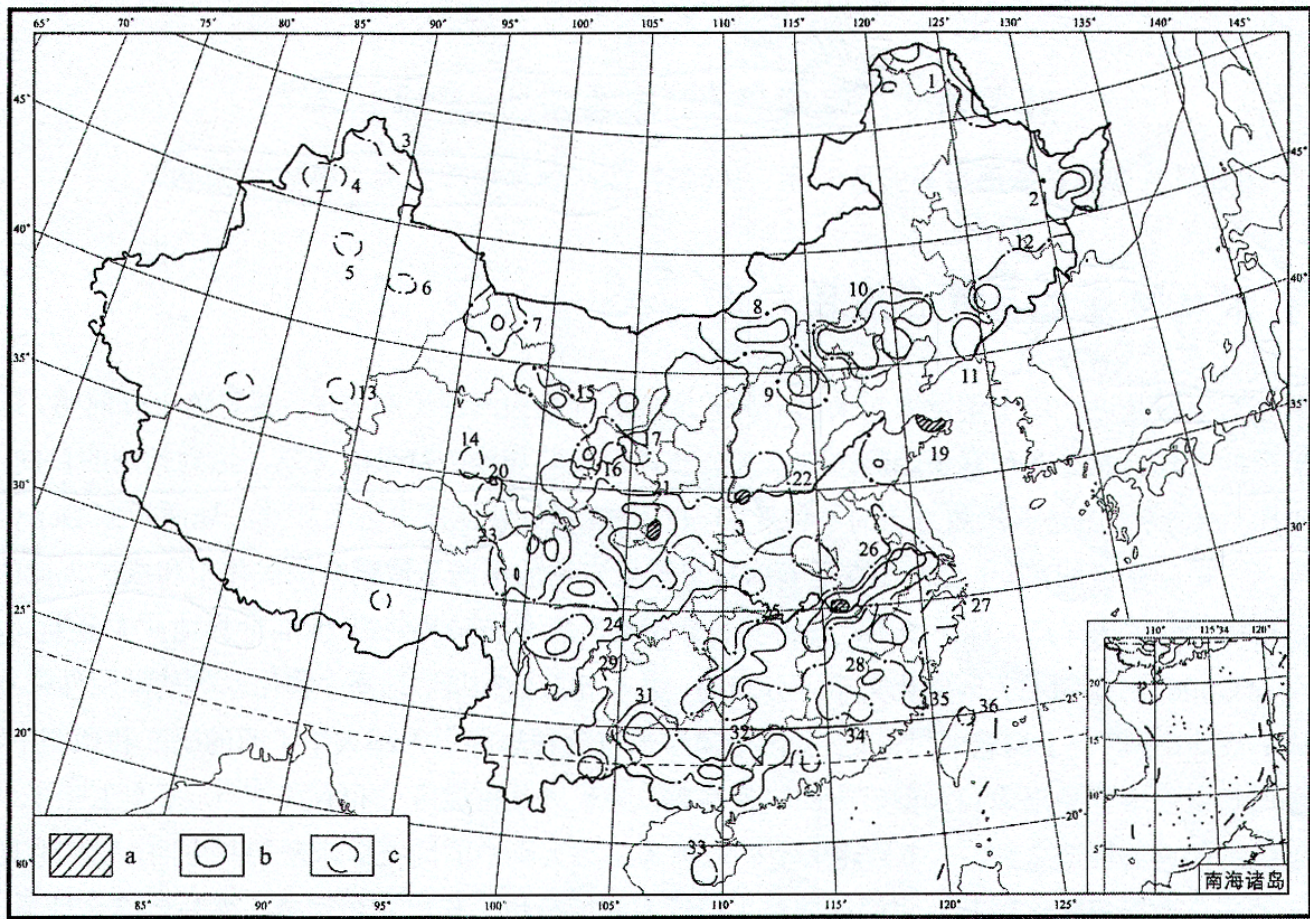


图14 中国金矿矿床（点）密度等值线

a—密度 >16 个/单元；b—密度为 $4\sim 16$ 个/单元；c—密度为 $1\sim 4$ 个/单元。1—黑龙江；2—佳木斯；3—阿尔泰；4—西准噶尔；5—西南天山；6—东天山；7—北山；8—狼山-白云鄂博；9—五台山-太行山；10—冀西北-辽西；11—辽东；12—吉南；13—可可西里；14—东昆仑；15—北祁连；16—南祁连；17—金川；18—阿尼玛卿（图中未标）；19—山东半岛；20—巴颜喀拉；21—川甘陕；22—秦岭；23—三江；24—川西北；25—湘桂鄂；26—长江中下游；27—浙东；28—皖浙；29—川滇黔；30—滇桂；31—滇黔桂；32—南岭；33—海南；34—闽浙；35—闽东；36—台北

四、一带一路的矿产“资源”应在建立地（质）、技（术）、经（济）、环（境）“四元性”模型新格局的勘查基础上形成“资产”

在上述一带一种选取的有利整装勘查区内，对高投入、高风险地质勘查和矿业开发，如何能作到最佳投入产出比，建立“四元性模型”将是丝路矿业开发的新举措。新举措的建立必须贯彻下列四项科学技术模拟：

1-矿产勘查“双控论”与“合理域”的科学技术模拟

“双控论”是指地质和技术经济两项研究指标得到合理保证，地质是以成矿地质背“景”、控矿“场”、成矿流体“相”和形成的矿“床”四个等级体制最佳耦合的保证程度，技术经济的可行性是以勘查开发技术可行性来表达。按两项保证程度的不同在地质的纵横经济技术的二维坐标图上，通过斜率大小不同的计算，模拟出一条合理开发曲线（红线），并划分出7个合理勘查开发阶段和13个评价程度，作为评定地质勘查和矿山开发建设是否合理的标准（图15）。“合理域”是指上述地质的科学技术经济的勘查工作和研究程度的投入达到一定合理区间的内涵。

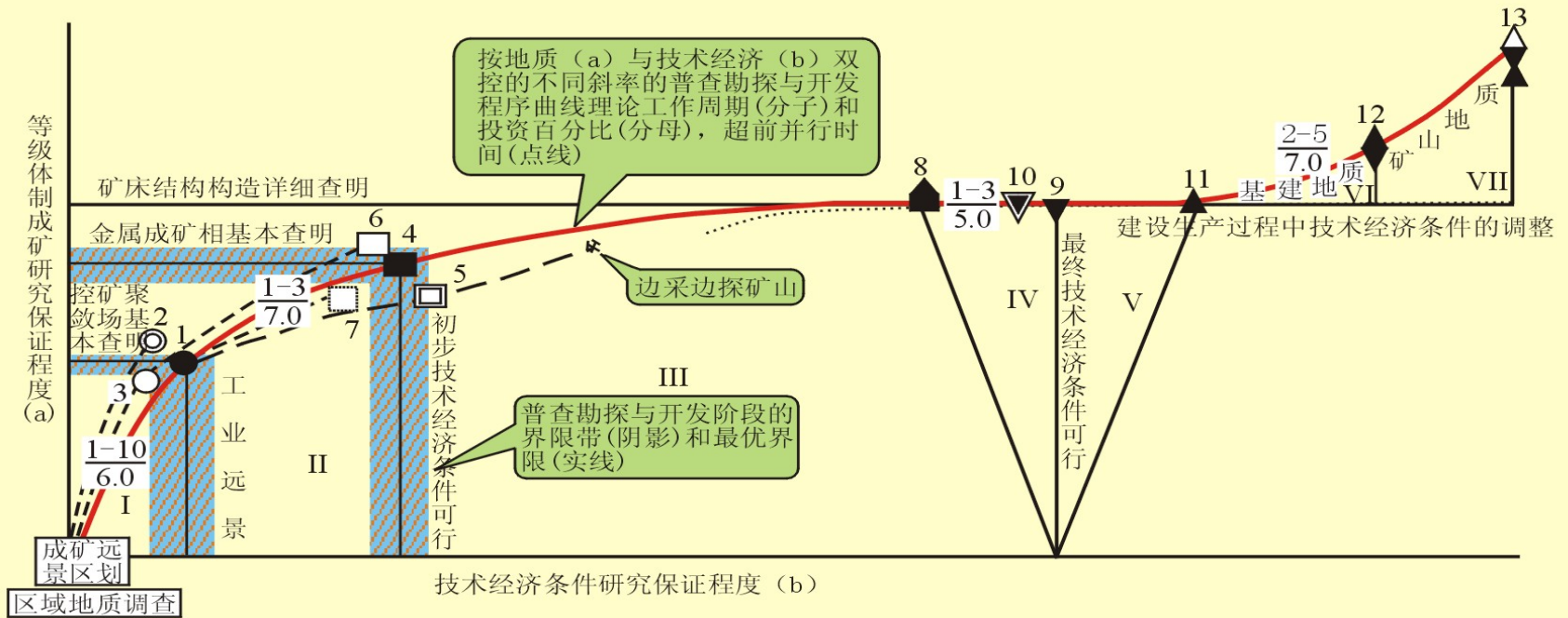


图15 矿产勘查双控论与合理域的模拟

I—矿产普查；II—矿床勘探(初步)；III—矿床勘探(详细)；IV—矿山建设可行性研究；V—矿山建设；VI—矿山基础建设矿床地质研究；VII—矿山生产矿床地质研究
 1—可进行勘探(初步)矿床；2—工业远景不明矿床；3—无地质和工业远景矿床；4—可进行勘探(详细)矿床；5—成矿复杂但具开采技术经济条件初步可行矿床；6—成矿基本查明但具未来开采技术经济条件可行矿床；7—成矿复杂不具开采技术经济条件可行矿床；8—可进行初步矿山建设设计矿床；9—按计划任务进行建设设计矿山；10—达到最终开采技术经济条件可行研究的技术储备矿山(暂不建设)；11—投资单位基建矿山；12—已建成矿山；13—已投产和持续扩大远景矿山。1—3 / 5.0：工作周期 / 投资百分比。

以上划分了7个矿产勘查阶段和13个勘查和开发的矿床，并作出勘查周期和投资百分比，这里划分的勘查阶段，强调了合理有序地回答对矿床探明不同精度的工程技术建设和开发的不同要求，与现行的预、普、详、勘(精)是类似的，但强调了开发期的地质研究和再发现。

2-矿产勘查风险投资决策支持系统的科学技术模拟

根据上述“双控论”“合理域”的“预”查、“普”查、“详”查、“勘”探不同阶段，不同矿床地质复杂程度、工作目的的任务、勘查技术经济条件决策其勘查周期应投入多少工作量和多长时间、投资大小和合理风险投资比例做出不同工作阶段决策支持系统的科学技术模拟（图16），也应是探矿工作合理投入的准则，更是当前探矿权的交易和获取风险勘查基金合理投入的科学决策。

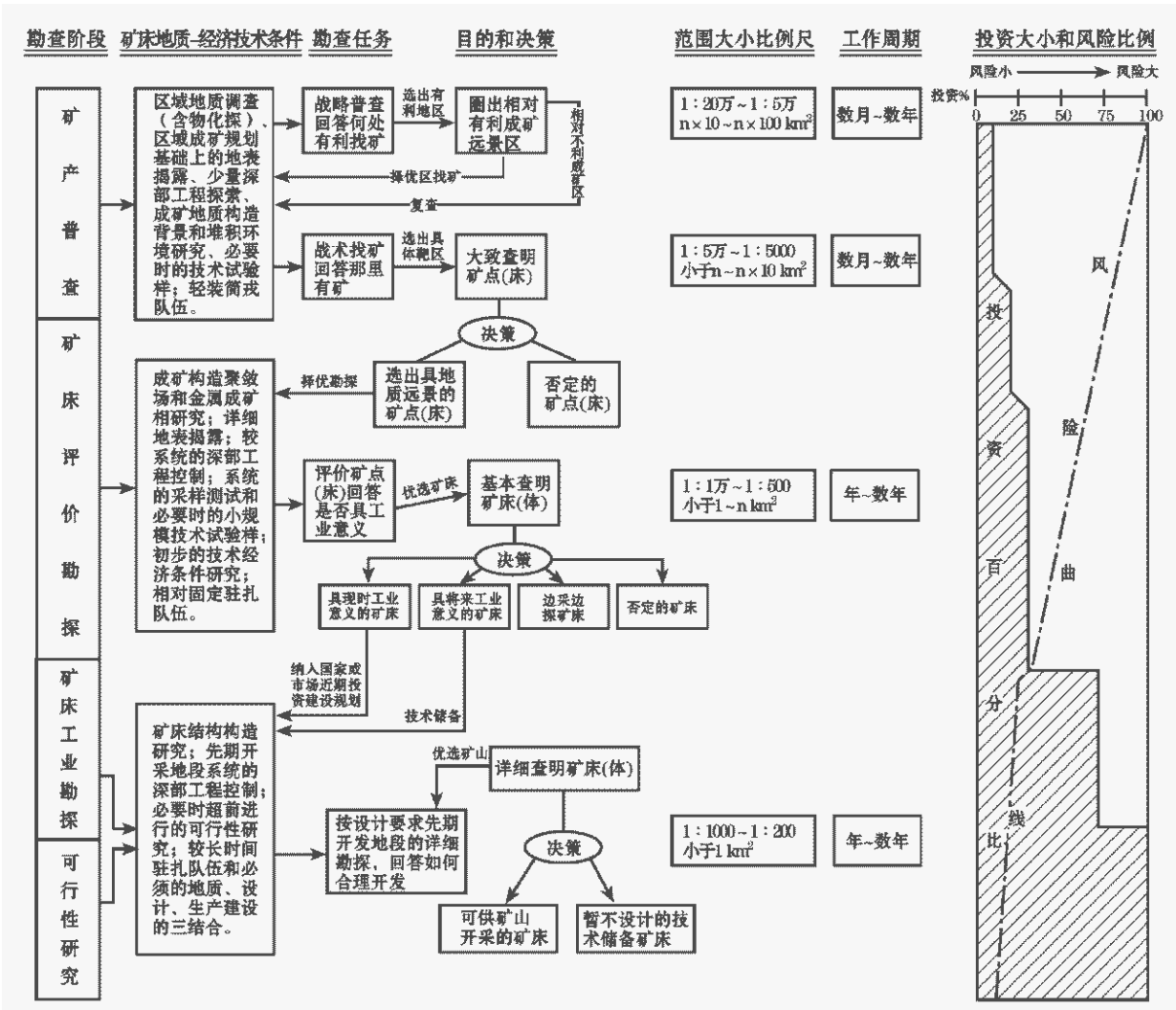


图16 矿业活动决策支持系统模拟

3-矿山合理开发年限的科学技术模拟

首先是对不同规模矿山合理开发年限的模拟，结合矿山生产规模和平均设计服务年限，在二维坐标图上，大、中、小型不同规模矿山及其合理生产年限，划分出试产①-达产②-稳产③-萎缩④-补偿⑤-闭坑⑥-复垦⑦共7期（图17），可作为矿山合理开发和闭坑评定标准，也是采矿权投资交易的准则。

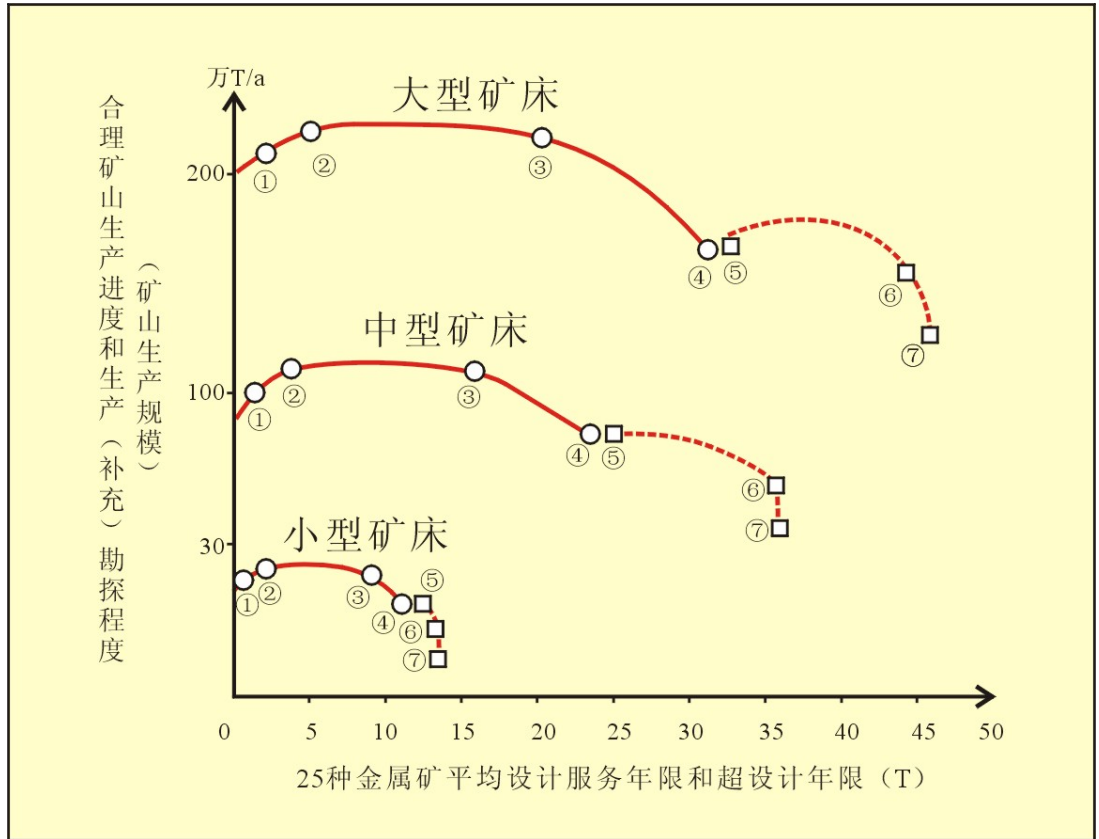


图17

4-5R循环经济矿业可持续发展的科学技术模拟

任何产业的开发均应具有减量化（Reducing），少投入大回报，旨在减少进入生产和消费流程中的物质和能量；再利用（Reusing），目的是尽可能多次或以多种方式使用物品；再回收（Recycling），是把废弃物再次变成资源的3R循环经济。但对不同确定性强和大风险的地质矿业，应在3R基础上，增加再发现（Rediscovery）和复垦（Reclamation）5R循环经济。再发现就是在开发过程中发现新资源和增加储量，是保证矿业可持续发展的决定因素。复垦就是关系到生态环境的问题，包括矿山绿化、转型为公园、博物馆、农田等，并贯彻矿山开发的始终（图18）。5R在矿业开发各阶段的地质和技术经济应做的工作，任务如表3。

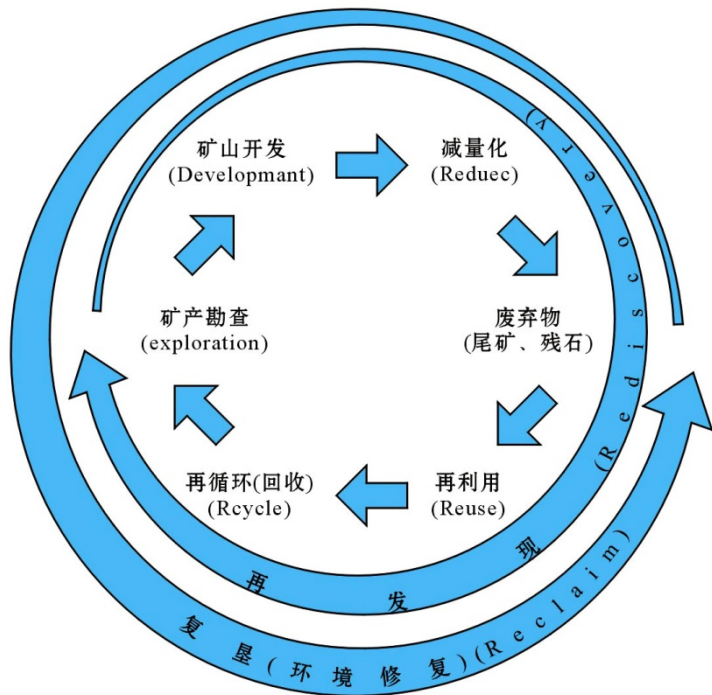


图18 矿业5R循环经济模拟图

为实现矿产资源可持续发展的一个重要问题是如何实践表3和图17的地质矿业5R循环经济的永续发展。

5R循环经济能保证矿产资源再发现的增储，延长矿业开发的补偿期，促使产、能、消费和废物等各个环节达到循环充分利用，最大限度提高矿产资源的利用率，真正实现矿业可持续发展，同时保证生态环境修复为绿色矿山开发造福。

表3 矿业循环经济中的5R原则

阶段	再发现原则 (Rediscover)	再减量原则(Reduce)	再利用原则 (Reuse)	再循环原则 (Recycle)	复垦(Reclaim)
勘查	在深部，边部进一步开展地质工作，寻找接替资源	提高勘查质量和准确性，减少勘查量	在已有勘查工作基础上，加深地质工作	多次开发勘查资料，	在勘查工作部署时考虑到生态环境因素
开采	实施边采边探的工作原则，避免工作环节脱节	使用先进开采技术，降低剥采比，贫化率，减少开采中消耗的人力物力	提高开采率，开采适当规模，就实际情况进行回采	—————	就地取材，将废弃尾矿、矸石、积土或垃圾等回填于露天矿坑、塌陷地或洼地，然后再将客土覆盖其上
选矿冶炼	加强选矿冶炼工艺	提高冶炼技术，减少应选矿石，减少冶炼量，随着加工技术提高，降低矿产品的边界品位	采用先进流程，注意综合利用，适度选矿规模，提高选矿回收率	提高技术，综合回收有价元素	综合利用废弃物，同时进行无害化处理
深加工	开发新产品，新用途	利用技术工艺提高，减少原料的消耗	采用先进工艺，提高主元素回收率，提高产品质量，节能降耗，保持适度规模提高适应性达到标准化，综合回收有价元素	—————	对难熔，难回收的有价元素进行回收，废气废水废渣的综合利用废弃物，进行无害化处理
尾矿处理	在尾矿中寻找有用主成分	减少废石，废渣，废气，废水的排放量	尾矿中有价组分的回收利用	增加再生金属矿产	可以在尾矿库上复垦造田，根据土壤的实际情况，选择作物

五、讨论和结论

1-建立复垦保证体系

复垦保证体系是当代一带一路矿业开发的核心内容，也是国际重视的准则，建立复垦保证体系的研究包括的内容有：从宏观层面出发研究全带的矿山复垦规划，从微观层面出发制定矿区复垦机制，同时在两个环节之间需要建立复垦保障制度监督和保证复垦工作的顺利进行（图19）

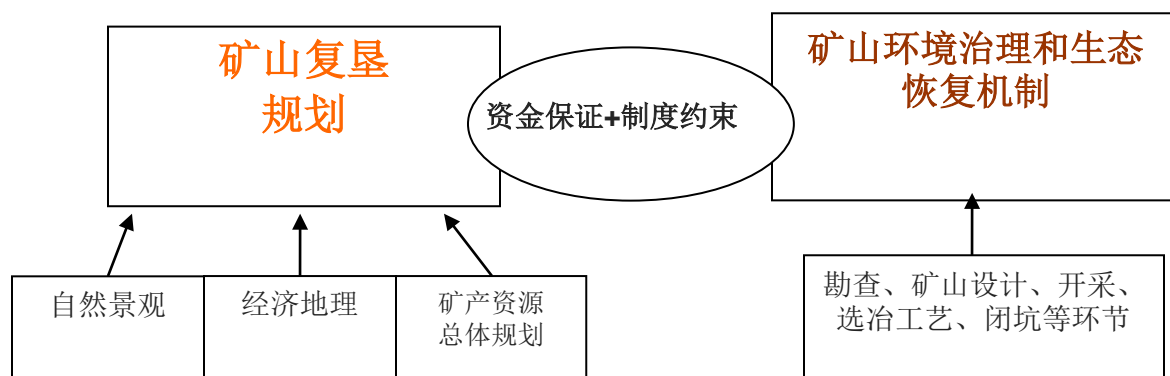


图19

2-开展矿业可持续发展的“资源”、“资产”、“资本”研究

开发矿业是地质系统的公益性地质工作，目的是解决矿产的“资源”问题。矿业开发是以市场的商业性地质工作为主，目的是解决矿产“资产”问题。有了“资源”和“资产”还要上市经营形成“资本”。开发矿业和矿业开发“三资”中的“资源”，应是以矿床学和找矿勘查地质学为主，“资产”应是矿业企业家的任务，“资本”应是以经济学和商业学为主。资本的经营还必须按矿业“贷”、矿业“易”和矿业“链”的矿业圈来经营（图20）。

3-加强资本的矿业“贷”、矿业“易”和矿业“链”的矿业圈来经营

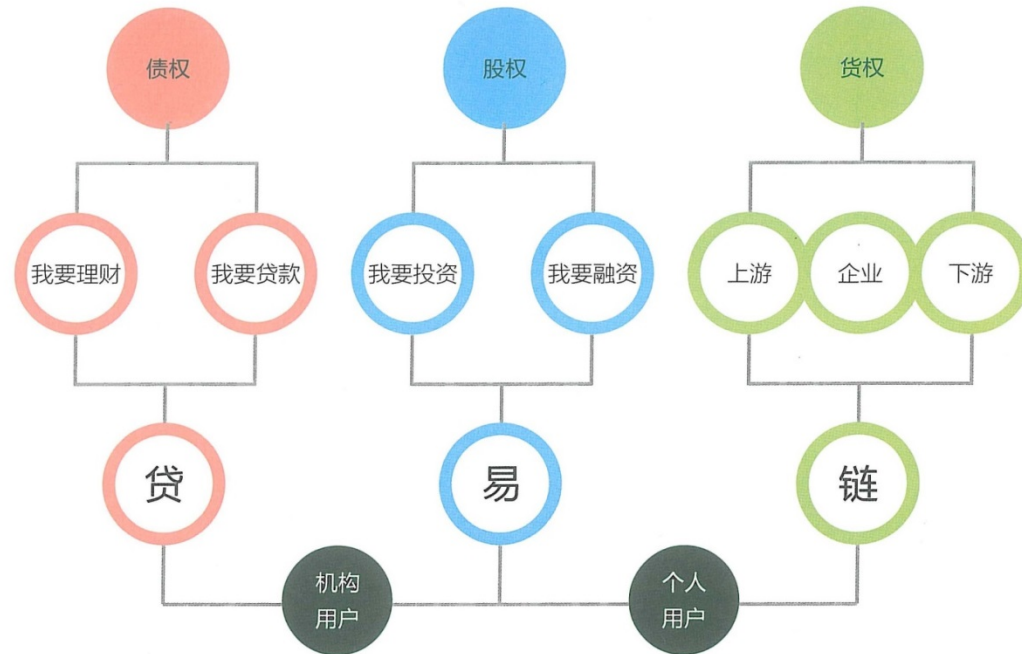


图20

4-建议成立丝绸之路矿产风险勘查基金
按上述风险投资的科学技术模拟引导企业在矿
汇区进行整装勘查，以利快速突破。

5-结论：

丝绸之路是中国发起的物质基础，并是从夏商周、秦汉、大唐、宋元和明清多个朝代与国际开通的商贸，也包括文化沟通之路，达数千年之久，并已在历史上树碑立传，本次提出矿业开发的一带一路应是21世纪发展国际矿业开发的创举，更是我国能作到促进一带一路广大发展中国家开发矿业的国际主义示范。据此，我们必须在已掌握一带一路的“景、场、相、床”四个等级体制成矿规律基础上，应用矿业开发四项科学技术模拟，建立“四元性”模拟为一带一路的“三资”和“贷”、“易”、“链”做出贡献。最后，希望本项研究能把历史上中国丝绸的盛感发展为发展中国家矿业开发的盛世。

谢谢

