

矿产资源开发与矿业可持续发展

矿山地球物理勘探新进展

何继善 柳建新 严家斌

(中南大学 长沙 410083)

摘 要 本文结合中南大学地球物理勘探新技术研究所针对矿山地球物理勘探领域所存在的世界性难题开展的研究和取得的突破性进展,介绍了该所近几年在我国生产矿山深边部和近外围开展地球物理勘探工作所取得的成果。

关键词 生产矿山 地球物理勘探 新技术 新思路 奇性指标 矿致异常

1 简述

我国现有矿山 9000 多座 乡镇集体和个体矿山 26 万多个 具有 2000 多万矿业大军 从矿产资源总量来看,我国是世界上的资源大国,但如将我国的矿致产资源情况与社会经济因素联系起来分析,情况则不容乐观:

(1)我国矿产资源总量与人口规模相比较,人均资源占有量居世界第 80 位 不及世界平均水平的一半。

(2)部分已探明的矿产资源因受外部条件限制在近期内难以开采利用。

(3)在各种矿产资源中,危机最严重的是金属矿产资源,而有色金属矿产资源危机更是首当其冲。

目前的严峻形势是:大多数矿山由于资源近于枯萎,如不能在近期找到接替资源,部分矿山将因丧失生产能力而走向关闭,这将会造成大量职工失业下岗,给社会带来不稳定因素。

反之,如能在这些资源危机的生产矿山深边部及近外围找到新的接替资源,就可直接利用矿山原有生产条件和设备进行开采和冶炼,做到既快又省地解决矿山所面临的资源危机问题,同时还可促进社会稳定。因此,在生产矿山的深边部及近外围寻找新的接替资源,具有十分重要的意义。

2 生产矿山接替资源勘探难度大

我国许多矿山的资源面临枯竭、保证程度低(尤其是有色金属矿山)的原因是多方面的。一是有的矿山确实因资源已完全探明 开采已到晚期 属正常闭矿之列;二是有的矿山以往的工作尚未做细 潜在的资源并未探明 是有潜力可挖的;三是以往的矿山地质工作主要是配合开采过程进行 对矿山后续资源的寻找工作开展不多 加上矿山地质队伍力量薄弱 找矿力度不大。

那些有潜力可挖的和以往找矿力度不大的生产矿山是有一定找矿前景的,问题在于生产矿山(特别是有色金属矿山)深边部及近外围找矿具有相当大的难度 归纳起来主要有以下几个方面:

我们面临的矿山大多是脉状矿床 这类矿山一般都经过了多次找矿研究 在成矿规律和

找矿方法上形成了一定的模式 多年来一直应用固定的常规方法找矿 因而很难取得突破。对这类矿山必须以新的思路、新的方法进行成矿构造研究 解决不同地质环境矿脉空间分布规律的问题。

在生产矿山深边部找矿要求物探方法的探测深度大、分辨能力强。

许多矿山都存在碳质干扰，要求物探方法能有效地区分矿致异常和碳质异常。

生产矿山的各种设施、坑道和废石对找矿信息可造成极大干扰。

生产矿山用电干扰大，要求物探仪器抗工业电流干扰的能力很强。

⑥浅表层大型矿、易识别矿发现的机会越来越少。

⑦生产矿山经济困难，无法提供必要的研究经费，要求研究者有极大的责任感和奉献精神。

因此 生产矿山深边部和近外围勘探研究必须摆脱原来的老思路 采用新的找矿方法、新的技术、新的思路 利用新的仪器设备、新的机制 发挥多学科优势 并充分发挥研究人员的主观能动性，才能取得突破性进展。

3 研究成果与创新

众所周知 电法勘探 包括激电法和电磁法 对金属矿有很好的反映 因此在寻找金属矿时 人们通常选用既能反映岩、矿石电阻率又能反映岩、矿石电化学性质的方法，遗憾的是这些方法一直存在着三大难题，多年来地球物理工作者一直被这三大难题所困惑，极大地影响了地球物理找矿效果。这三大难题是：

碳质岩石也能产生激电异常，很难将其与矿异常区别。

要加大探测深度必须加大极距，而加大极距就会出现感应耦合。

当主矿体上方有小矿体或矿化体时，会造成屏蔽效应，难于分辨深部矿体。

这三大难题是国际上多年来未解决的热门课题，中南大学地球物理勘探新技术研究所“生产矿山地质地球物理”课题组经过多年的理论研究与生产实践，针对这些国际性的难题进行了不懈的努力，终于从理论上寻找到了解决这些难题的方法，并已将我们的研究成果成功地应用到了危机矿山深部、边部和外围找矿工作 取得了不小的成绩。例如在湘东钨矿、湘西金矿、江永县银铅锌矿、广西泗顶铅锌矿、安徽铜陵凤凰山矿区、甘肃石青碛及国内其它大型矿山都找到了一些新的矿体，缓解了这些矿山近期资源接替危机。

总的来说，我们的研究主要体现在以下几个方面：

用频谱差异和非线性响应区分碳质异常。

用斩波和相干积分直接消除感应耦合。

用奇性指标除去浅部干扰。

用定场源微分测深分辨三维矿体。

此外 在采用大功率、大电流压制工业干扰提高信噪比方面 我们也开展了许多研究 试制出了用于不同方法的大功率发送设备。

3.1 频谱差异区分碳质异常

对于区分碳质异常，国内外学者常以变频方式测量激电相位谱的方法，虽然这方面文章很多，却未见实际使用报道。主要原因是：A. 低频段测量速度很慢，B. 高频段感应严重，C. 野外的相位曲线很平缓，变频测量相位的精度难以达到要求。

针对相位谱的上述特征，我们提出了伪随机（多）三频相位法。伪随机三频法有以下特点：
A. 三个频率选在中频区，能反映关键信息；B. 测量速度快，且无感应影响；C. 三频同时测量，精度高；D. 可以在普查时就全面测量，不增加成本，因而数据量大，区分的可靠性大为提高。

3.2 非线性区分碳质异常

金属硫化物都是半导体，而碳质则不是，它们在电流密度变化时的非线性范围是明显不同的，国外学者在直流电场中作了许多研究，均因精度达不到区分要求而放弃了。经过多年的研究和大量的标本测试分析，我们发现了在频域场中电化学非线性效应的特殊响应，找到了准确反应非线性响应的方法，能从更本质的角度区分碳质异常。

3.3 除去感应耦合新方法

长期以来人们对为加大勘探深度而加大极距所遇到的感应耦合问题进行了许多的研究，总的来说，以前国内外学者采取的都是从野外实测数据中减去在室内模型计算出的感应耦合理论值的消除方法。例如 Zongé 美国用水平层状介质的理论值；Pelton 加拿大用 Cole - Cole 模型计算理论值。由于这些“理论值”都是一种粗糙的近似，很难甚至无法在实际中应用，因此一直停留在理论阶段，未能得到实际应用。

我们在研究感应耦合和矿体异常规律基础上，提出了“斩波”和“相干积分”两种直接消除感应耦合的方法，这两种消除方法不但在理论上先进，在实际中也切实可行，我们还设计了在测量时直接消除感应耦合的抗感应耦合型的仪器，结束了外国人在室内用近似计算消除感应耦合的历史，从而可以加大探测深度。

3.4 用奇性指标除去浅部干扰

浅部电性不均匀引起的干扰异常是一种局部效应，我们应用小波变换的时域双重局部性能，提出了一种可以刻画异常特征的新参数——“奇性指标”。理论上证明，深部二维和三维地质体引起的异常奇性指标大于零，而浅部电性及其它原因的干扰异常的奇性指标小于零，从而可通过判别奇性指标的正负，自动识别浅部干扰异常。应用多分辨分析，可以将信号在不同尺度分辨率下分解，且分解后的信号可恢复到原始信号。由于能识别干扰异常，因而在重构中可以将干扰异常从不同的分辨率意义下消除。最后，我们对小波理论作了扩展，提出了高分辨率消除干扰异常的最佳方法。

3.5 定场源微分测深分辨三维矿体

传统的对称四极测深分不出层状矿体和三维矿体，测不出三维矿体底面的反映。为此，我们发展了定场源微分测深法，该方法不仅能很好地确定出矿体的形态，还能清晰地反映矿体的顶面和底面深度，达到矿体空间精确定位的目的。

4 应用效果

对于不同类型、不同矿种、不同成矿规律的矿山，我们通常采用物探与地质相结合、理论研究与应用研究相结合、不同物探方法相互组合等找矿思路和手段。多年来我们已在全国 20 多个矿山（大多为生产矿

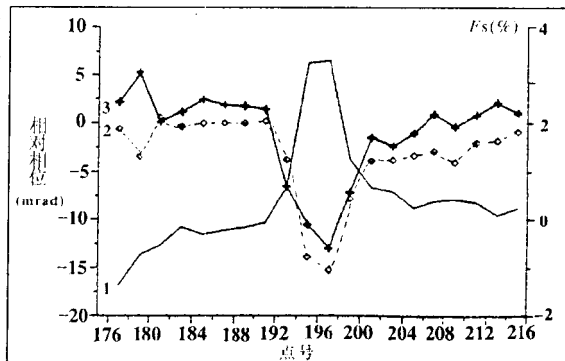


图 1 路福 86 线三频激电测量结果
1. 低-中; 2. 中-高; 3. F.

山开展了接替资源的勘探研究项目 在大多数研究矿山都取得了很好的地质效果。如在湘西金矿找到了 40 多 t 金 (已有近 30t 被沿脉坑道所控制)、15 万 t 锑、6000t 三氧化钨 在湘东钨矿找到了 5000t 三氧化钨；在广西泗顶铅锌矿找到了铅锌平均品位达 13.4% 的优质铅锌矿；在甘肃石青铜找到了铜铅锌金银多金属矿；在安徽铜陵凤凰山铜矿找到了优质铜矿体。

例如，我们在泗顶铅锌矿外围找矿研究时，首先根据地质研究所总结的该矿区成矿规律，针对所要寻找的铜锌矿的矿石标本测量具有较好的激电效应的特点，采用了大功率双频激电仪进行面积性测量，发现激电异常后再用伪随机三频激电仪区分铅锌矿、硫铁矿和寒武系老地层的异常，最后在有望的矿致异常区进行微分测深确定矿体的埋深和厚度，为后续工程验证提供依据。经面积性测量 我们发现了路福、筑田弄、露头村三个有意义的异常区 经三频激电工作和水槽模型实验我们发现该矿区双频激电相对相位异常有以下规律：

在寒武系出露区相对相位 $\Phi_{\text{低频-中频}} > \Phi_{\text{中频-高频}}$ 而在泥盆系出露区则 $\Phi_{\text{低频-中频}} < \Phi_{\text{中频-高频}}$ (见图 2)

在矿体可能存在的地方必定存在高极化率值异常和相对相位的低值异常，且 $\Phi_{\text{低频-中频}} \approx \Phi_{\text{中频-高频}}$ (见图 3)；

碳质页岩、泥质板岩无激电异常 相对相位大于 0 或稍小于 0 两条曲线基本平行。

因此我们认为只有路福异常最有可能为矿致异常，筑田弄异常为硫铁矿所致，露头村异常反映了该区浅部的寒武系地层。

图 1 是路福 86 线双频激电与三频激电测量结果 图中 193 - 199 号点之间明显存在一个幅频率和相对相位异常。图 3 是水槽中含铅锌 30% 的标本测量结果 (标本位于 0 号点位置) 对比图 1 和图 3 我们可以看出二者有很好的可比

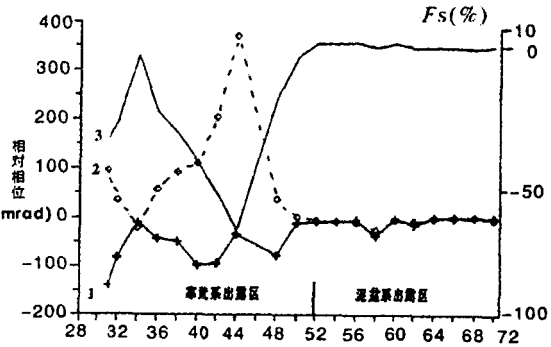


图 2 露头村 100 线三频激电测量结果
1. 低 - 中; 2. 中 - 高 3. F_s

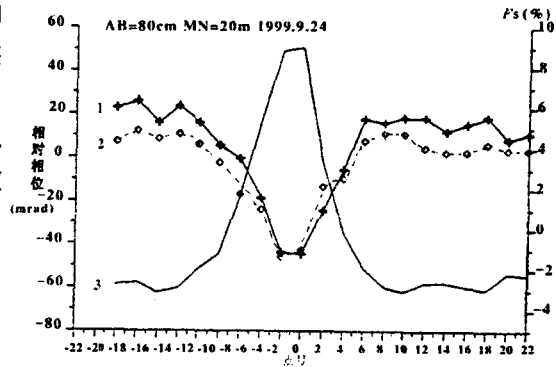


图 3 水槽中铅锌矿标本三频激电测量结果
1. 低 - 中; 2. 中 - 高; 3. F_s

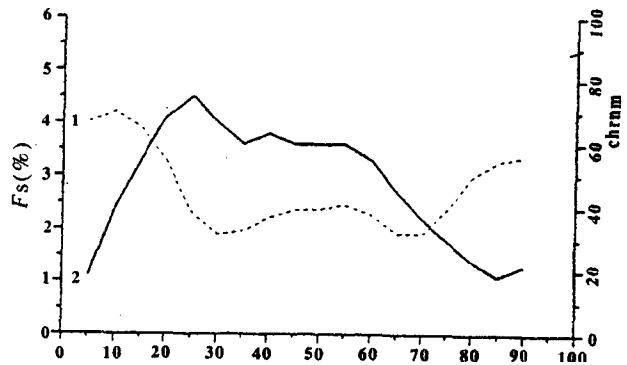


图 4 路福异常 86 线 197 号点的微分测深结果
1. Res; 2. F_s

性 幅频率异常形态和相位异常特征十分相似 因此我们可以肯定路福异常是一个陡倾斜的富铅锌矿板状体引起的, 有一定的工业价值。

图 4是路福 86线 197号点的测深结果 从图中可以看到在 25 ~ 32m 存在一个高极化低电阻的异常、在 57 ~ 61m 处存在一个次高激化高阻异常。结合该区硫铁矿的低阻高极化和泥盆系灰岩产出的铅锌矿高阻高极化特征 我们认为第一层异常是硫铁矿引起的 深部异常则是铅锌矿体引起的。后经钻孔揭示 验证了我们的解释结果 在 25 ~ 30m 打到了断层和硫铁矿化, 在 57 ~ 61m 打到了优质铅锌矿。

路福异常的验证结果说明了我们所选择的方法是正确的, 微分测深结果是可靠的。

5 结论

由于我们多年在生产矿山深边部及近外围勘探研究中深深地认识到了在寻找深部隐伏矿和难识别矿种方面, 传统的找矿方法和技术难以取得好的地质效果。要取得找矿突破, 一是要加强现代成矿地质理论研究; 二是地球物理勘探理论、方法、技术手段要有所更新和突破; 三是多元信息的复合处理技术的应用; 四是要利用新的机制, 充分调动研究人员的积极性。

由于每个矿山具有各自的特殊性, 因此任何一种找矿方法都不能适应所有的矿山。对不同的矿山和不同的矿种只有找到最有效的物探方法组合, 通过多元信息的复合处理才能取得最好的找矿效果。如我们在白银石青铜采用激电扫面发现异常, 用三频激电测深分出上下两层多金属矿体; 在江永银铅锌矿则采用近矿激电法圈定矿体范围和深度, 用三频激电法区分矿与非矿异常; 在湘西金矿采用正交电磁法扫面, 然后用近矿激电法对异常进行定性研究; 在湘东钨矿采用高精度磁测和高密度电法圈定矿脉。

地球物理与地质的有机结合是生产矿山深边部和近外围资源勘探取得突破的关键。特别是在物探靶区的选择和物探资料的地质解释工作中更应该强调地球物理与地质的密切配合。

参考文献 (略)

为矿山排忧解难 老矿焕发了青春

黄永南

龚政

(湖南地勘局 长沙 410007)

(湖南省地质学会 长沙 410007)

摘要 80年代末,湖南省地质学会通过调研,发现湖南大多数有色金属矿山保有资源不足,面对这一情况,该会在科学技术是第一生产力的指导下,走矿、会相结合的道路,在矿山和矿山主管部门的大力支持下,在一些资源危机矿山的资源论证工作中取得了很好的成效,并在这一工作中得出了几点体会。

关键词 有色金属资源危机矿山 地质找矿成效 几点体会

科学技术是生产力。学会是科技人员之家、科学家之家。积极发挥科技专家的知识和技能为地矿事业和经济建设服务,这是我会始终坚持的核心工作。40多年来,特别是近10余年来,我会在各级领导的关心、挂靠单位的重视以及全省地矿行业各会员部门和单位的大力支持下,学会理事会团结一心,坚持四项基本原则,积极发挥群众团体的桥梁和纽带作用,积极发挥学会人才和技术优势,开展了一系列以学术活动为中心的各项科技活动。通过这些活动,为政府决策、为地质找矿、为企业生产、为社会稳定以及为提高我省地质科学水平做了一些工作,并取得了很好的社会效益和经济效益,受到中国科协、中国地质学会、湖南省人民政府、湖南省科协的多次表彰,在省内外树立了较好的形象。本文仅涉及我在开展资源危机矿山工作中的一些做法、体会和成效。

1 为矿山企业排忧解难,延长了矿山寿命

湖南是著名的有色金属之乡,矿产资源十分丰富。但是,经过几十年的长期开采,不少有色金属矿山的保有储量感到非常紧张,有的甚至面临资源枯竭的局面。切实加强科学研究,寻找新的可接替资源,成为矿山发展的当务之急,也是广大地质科技工作者义不容辞的责任。因此,自20世纪80年代末开始,我会就把开展学术活动与为矿山企业服务紧密结合,每年组织专家和科技人员到矿山调查研究,协助工作,召开有关以地质找矿为中心内容的学术研讨会和资源论证会。先后对桃林铅锌矿、柏坊铜矿、香花岭新风铅锌矿、麻阳铜矿、清水塘铅锌矿、锡矿山锑矿、东安锑矿、湘西金矿、石门雄黄矿等10余个有色金属资源危机矿山开展了工作,组织了200多名地质科技专家对上述矿山近外圈成矿地质条件和矿产远景进行了认真的研究和论证,对矿山今后的地质工作提出了具体意见、措施及建议,取得了很好的社会 and 经济效益。

常宁柏坊铜矿是国内著名的小而富铜矿,经过30多年的开采,矿山已形成了一个中小规模的采、选、冶联合企业,经济效益很好。但矿山保有储量有限,到1990年时就只能维持6年生产。根据矿山实际情况,我会1999年5月与有色长沙公司联合组织20余位专家到矿山实地考察研究,一致认为柏坊铜矿外圈成矿地质条件较好,在柚子塘一带有较好的找矿前景,并把各位专家对矿区的看法印成《专家意见专辑》。后经过地质部门一年多的工作证实,在柚子塘地段找到了品位较高(矿段平均品位1.5%)的铜金属量1.5万吨,延长了矿山寿命10余

年。为此，该项活动被湖南省科协评为全省第一届最佳学术活动奖。

1992年学会面对香花岭新风铅锌矿资源枯竭问题，与中国有色金属公司长沙公司合作，在现场召开了地质找矿研讨会。与会专家经地表、井下考察、研究和论证，在该矿区提出了三个找矿远景地段。后经矿山坑探验证，已在其中两个找矿远景地段找到了20余个小而富的锡铅锌矿体，共获锌铅金属储量2万余t，锡金属储量5000余t。由于在本区新发现了众多的小而富的矿体，其产量和产值占整个香花岭矿山一半以上，成了整个矿山的“顶梁柱”。

1993年至1994年，学会先后两次组织省内外几十名地质科技专家到资源比较危机的麻阳铜矿进行工作。专家们通过现场考察和研讨，发现麻阳铜矿的矿体走向并非与含矿地层的走向一致，提出“砂岩铜矿地下水成矿的后生成因理论”应引起本区找矿工作的重视，同时还认为，根据这一成矿理论结合该区的成矿地质条件，在本地区直至整个沅麻盆地有较大的找矿前景。1994年，根据专家意见，由湖南冶金企业集团公司出资，中南工业大学、湖南省地质学会和麻阳铜矿三方共同开展了《湖南省麻阳铜矿矿化富集规律及生产区盲矿体预测研究》科研课题。该项目于1995年4月完成，5月进行了成果鉴定。专家鉴定认为，研究成果达国内领先水平。在该项成果中，在总结麻阳铜矿矿化富集规律的基础上，对生产区进行了盲矿体预测，共预测了33个盲矿体，预测铜金属量数万吨。该项工作是在边研究、边验证中进行的，部分预测地段经工程验证，已找到了很好的盲矿体，获铜金属工业储量数千吨，大大地缓解了矿山资源危机。

东安县线江冲锑矿是个县办矿山，随着矿山生产的进行，锑矿保有工业储量只能维持两年；加之该矿区锑矿的成矿地质条件较复杂，致使矿山在生产中存在一些地质问题需要解决。为此，1995年12月，我会受湖南冶金企业集团公司总公司的委托，派出10余名从事锑矿地质工作的专家和教授到现场帮助工作。通过专家考察研究，认为线江冲锑矿区有很好的找矿前景：区域成矿环境有利；具有良好的地层岩性组合；矿床容矿构造具有多次活动；矿化具有多次叠加；因此推测在I、II号矿脉与F₁断裂之间以及310m中段以下地段可望找到新的成矿构造和新的矿体。后经矿山工程验证，在310m中段3号脉见矿平均厚1.0m，最大2.5m，Sb平均品位4‰；并在417m中段3号脉的主脉和支脉相交处见富矿，Sb品位达10%。预测可获数千吨锑金属量。

湘西金矿是一座世界闻名的金锑钨共生的大型矿床，已开采130余年，现有职工12000余人。但1995年其保有可利用储量只剩7年，矿山出现资源危机。为此，该矿多次邀请我会及我会会员单位中南工业大学帮助找矿。1996年6月，我会在矿山现场召开了以何继善为首的12位地质、物化探专家参加的地质找矿研讨会，对湘西金矿找矿前景进行了“会诊”并提出了找矿意见和预测。1997年，我会与湘西金矿正式开展了“矿-会协作”派专家到湘西金矿开展找矿工作。以何继善为首的专家、教授多次奔赴现场，对矿区的成矿地质条件及找矿方向进行研讨和指导，并开展了“湘西金矿沃溪矿区深边部地质地球物理探矿研究”课题项目。在该项目研究中，专家们坚持地质、地球物理相结合和科研、生产相结合的原则，在研究区采用先进技术获取了大量资料，并运用先进的数据处理和分析方法，建立了沃溪矿区深部矿床地质地球物理模型，加深了对矿区控矿构造及成矿条件的认识，圈定出深边部矿体的埋深、产状、平面伸展形态和延伸情况及矿化富集中心，并突破以往找矿范围，在过去被圈为无矿的地段发现大型盲矿体，从而获得可利用储量黄金41t、锑21t、三氧化钨6000t。按各金属平均价格计算，有60多亿元潜在效益，可延长矿山服务年限近30年。这项研究成果经矿山采用坑道验证，证实存在品位富、规模大的盲矿体，初步解决了矿山资源前景不明、储量危机的问题，使面临困境的百年

老矿焕发了青春。

2 几点体会

通过近 10 年对我省近 10 个资源危机矿山的工作，取得了较好的经济效益和社会效益。首先，矿山根据专家预测地段，经工程验证已获得的金属储量：铜 3 万 t、铅锌 3 万 t、锡 5000t、金 30t、锑金属量 10 万 t 其潜在经济价值折合人民币达数十亿元。第二 矿山根据专家的验证材料，向其上级主管部门申请验证工作资金 4000 余万元。第三，由于矿山获得了新的接替资源 延长了矿山寿命 使上述矿山近 5 万名职工生活得到了稳定。

从上述开展资源危机矿山的资源论证工作中我们有以下点体会：

(1) 加强与矿山主管部门和矿山的合作是做好资源危机矿山资源论证工作的前提。

矿山和矿山主管部门对矿山的实际状况最了解，存在什么问题和最需要解决什么问题，他们最清楚。学会派专家到矿山协助工作，如何进行，采取什么形式，做哪些工作以及做到什么程度，则必须要与矿山和矿山主管部门进行商讨，是其一；第二，学会派专家到矿山进行工作，有的专家不一定对矿山的地质状况熟悉，因此，专家在来到矿山前，矿山需准备一份矿山地质背景材料(含需要解决的地质问题)第三 在经费上 学会是个知识性服务单位 不可能有更多的资金拿来投入这项工作，因此，开展这项活动的经费需要矿山负担。这些工作，都必须在专家进矿山现场之前协商好。通过实践，我会与各矿山主管部门和矿山协调较好，合作得愉快。

(2)开展现场地质找矿研讨会是做好资源危机矿山资源论证工作的关键。

专家到现场后，首先是参加由学会和矿山主管部门联合召开的地质找矿研讨会。听取矿山前阶段取得的地质成果资料和工作状况的汇报；考查矿山生产区和近围的地质状况；研讨矿山的资源前景和需要进一步开展的工作、工作方法及要采取的措施。在充分研讨的基础上，写出《会议纪要》。

《会议纪要》代表了会议的成果。它论述了矿区的找矿前景和找矿远景地段以及采取的手段和方法等。“地质找矿研讨会”是该项工作的核心工作，《会议纪要》是该项工作的核心成果。

(3)协助矿山做好“验证”工作，是落实资源危机矿山资源论证工作是否取得成效的重要步骤。

根据专家对远景地段进行的预测最终要进行验证，要验证则需要资金，有的矿山还需要找施工队伍。学会如何尽自己的力量协助矿山做好这方面的工作也是很重要的。如柏坊铜矿的验证工作，就是我会协助矿山找湖南省地矿局 417 地质队与矿山合作 各出 50% 的资金进行钻探验证的，取得了很好的效果。

参考文献(略)

矿床技术经济评价与工业指标问题

郑之英

(国家有色金属工业局 北京 100024)

摘 要 本文结合我国几十年矿业开发的具体实践和社会主义市场经济新形势,对矿床技术经济评价的必要性和矿床工业指标的可变性进行了深入探讨。

关键词 矿产经济 矿床工业指标 技术经济评价

从计划经济过渡到社会主义市场经济以来,广大矿业工作者对勘查成果、矿产资源的工业利用和矿业企业的经济效益等问题日益关注,对与此有关的矿床技术经济评价的必要性和储量计算工业指标(简称工业指标)的可变性,通过过去几十年矿产勘查和矿业开发的实践也感受颇深。在市场经济条件下,作为国民经济支柱产业的矿业也要以市场为导向,使矿产品作为商品在市场中流通能取得经济效益,以便维持和扩大企业的再生产和向国家合法缴纳税金,满足民众的就业机会,繁荣社会经济,产生社会效益。这里仅就矿床技术经济评价和工业指标问题谈一点看法。

1 矿床技术经济评价

从地质勘查工作角度,矿床技术经济评价的必要性就是使前期的勘查成果能够从技术上和资金投入上指导后期勘查工作的继续,使后期的勘查成果可以作为矿权,转让后取得资金投入新的勘查工作或直接为矿山企业设计和矿业开发之用,变资源效益为经济效益。从矿床地质工作角度,在市场经济条件下地质勘查成果作为商品,使用方(买方)除对地质勘查资料的勘探研究程度和完整程度,包括所附各类图纸所表达内容的精确程度进行品评外,对于探获的矿产储量在工业利用上的可行性及其未来可能的经济价值更应慎重对待,以便按质论价在成交后作为矿山企业建设的依据。因此有关矿床技术经济评价的章节已经成为地质勘查报告中的一项重要内容。

1.1 矿床技术经济评价的阶段

根据今后尚可遵循的有益经验和有关规定,矿床技术经济评价依勘查研究程度的不同而评价的深度也不同,其内容应包括技术评价与经济评价两方面。技术评价是在理论上对勘查地的成矿地质背景和成矿地质构造条件认识的基础上,对矿产资源的数量和质量以及矿床所在地区的找矿远景进行分析。经济评价则是以技术评价为基础对矿床开发的未来可发生的经济价值进行现时的评价。所以矿产资源在市场经济的多因素影响之下,评价中不应以勘探储量为基础,而是要把矿山可以采出的矿量纳入资产市场价值的范畴。矿床技术经济评价可以参照勘查研究程度的不同分为四个阶段,即概查阶段、普查阶段、详查阶段和勘探阶段。与现行银行标准的可行性研究程度对比,有相似之处。大体上普查阶段的技术经济评价相当于规划性研究其误差要求可不超过 30%~35%,详查阶段(有时正在执行勘探中)的评价可相当于预可行性研究,误差要求可不超过 20%~25% 勘探阶段的评价可相当于可行性研究 误差

要求可不超过 10% ~ 15% 其内容基本如下：

(1)概查阶段 是对尚未探获储量的勘查地进行评价的阶段，主要是地质的理性认识方面的。首先要对新发现矿床的可能成因类型和工业类型加以确定，再根据直接的和间接的找矿标志和基础地质，包括含矿带和成矿区的地球化学特性，成矿作用的表现形式和强度，地质构造位置和构造特点等，从地质理论上对所研究的对象的勘查合理程度做出判断。在进行了地质遥感、物化探和少量验证性工程见矿的基础上，也可以对研究对象估算其地质资源量。为勘查后备基地提供计划上可行的目标，提出下一步是否可以进行普查工作的意见。

(2)普查阶段 是对矿床做出定性的概略的技术经济评价的阶段。在分析该矿产资源国内外总的形势和供需情况，以及矿床开发的内外部条件的基础上，结合本阶段探明的 D + E 级储量，即大致探明的储量和工程外推矿体的预测储量相当于西方的推测级 (Inferred) 储量和预测级或初估级 (Pre - Resource) 储量。以普查阶段勘查工作程度相适应的矿床开采条件及选冶试验资料，以及未来矿山建设的一般技术经济指标为依据，概略地评估矿床未来开发时在技术上是否可行 经济上是否合理 其可靠性可达 70% ~ 65% ，并可做为是否能进行详查阶段工作的依据。

(3)详查阶段 可以说这是矿床技术经济评价的关键阶段。为使评价的结论具有相当的可靠性 可靠程度达 80% ~ 75% ，评价必须在与本阶段相适应工作程度的资料基础上进行。根据探获的 C + D 级储量，即基本探明的和大致探明的储量，相当于西方的表明级 (Indicated) 和推测级储量。结合矿床的具体情况，在比较充分地搜集该矿产资源形势和国内外供需情况与发展前景，以及国家对该矿产的开发政策和中长期规划等资料的基础上，根据与本阶段工作程度相适应的开采技术条件和选冶加工技术条件，对评价的诸因素进行分析和选定计算参数，从而估计出可能的可采矿量和回采率，确定矿石的加工选冶技术和回收率，框算出所需的各种开发设施，估计基建投资和未来生产成本，确定经济上的可行性以及勘探阶段和项目开发之前还需进行的工作。

(4)勘探阶段 本阶段的矿床技术经济评价应以矿床勘探的最终成果为基础。根据已探获的 B + C + D 级储量，即详细探明的、基本探明的和大致探明的储量，相当于西方的实测级 (Measured)、表明级和推测级储量，以及矿山建设项目建议书与生产经营条件等做出详细的分析评价(对于矿山建设可行性研究而言 则一般应在取得经审批的勘探报告后进行)因此 本阶段的技术经济评价应在详细搜集分析该矿产资源形势、市场条件、产品方向与前景的基础上，采用符合矿区实际情况的计算数据和指标，计算矿床未来开发的企业经济效益，详细反映出未来企业开发的盈亏情况。具体要求是(特别是对可行性研究而言)要计算出可采矿量 (Mineable ore reserve)，包括西方的可能级 (Probable) 和证实级 (Proved) 矿量。证实项目在采选冶技术上的可行性，确定采选设施的能力、规模和特征，估算在矿山合理服务年限中的基建投资和生产成本，建立矿产品的销售渠道及其市场，必要时还应进行由不同因素产生的经济灵敏度分析。

1.2 矿床经济技术评价应注意的问题

矿山地质工作者对后三个阶段的矿床技术经济评价或可行性研究，从经济角度应注意和审视的重点问题是：

(1)储量级别比例及其数量和质量(即吨位品位)，这是判别矿产资源可靠程度的依据。一般有色金属矿供矿山设计使用的 B + C + D 级储量的比例应保持在 1:4:5 左右。其与矿山开采的关系，B 级储量在量和质上可保证首期开采和按期达产负担偿还贷款之用。根据 B 级储

量可以进行采准工作，一般情况下 B 级储量基本上可相当于采准矿量的下限。C 级储量是矿山设计中准备中期开采的储量，是设计中考虑矿山建设规模的依据，据此可以进行开拓工程的设计，基本上与开拓矿量相适应。它也是生产探矿升级后采出矿量的基础，其作用主要应能保证还贷功能和生产盈利以及矿山资产的折旧。D 级储量是矿山设计中储备后期开采的储量，也是矿山生产期间补充勘探的依据，能起到矿山持续生产和扩大生产的作用，还是矿山继续获利的基础。

(2)不同地质勘查阶段应进行不同规模的选冶试验 目的是了解矿床工业利用方面的可行性。普查阶段要做矿石可选性试验或实验室流程试验，选矿试料的重量一般前者为 20 ~ 50kg 后者 200 ~ 500kg。详查阶段一般做实验室流程试验，难选矿石应做实验室扩大连续性试验，后者试料重量约为 2 ~ 6t。勘探阶段一般进行实验室扩大连续性试验，难选矿石可进行半工业试验，试料重量约 10 ~ 20t。至于工业试验一般是大型矿山建设前的一项准备工作，可借用工业生产装置的一部分，一个或几个系列进行试验性生产，试料重量约 50t 左右。

(3)经济评价方面要了解经济分析和计算数据所采用的生产技术参数和指标的合理性，各项指标是平均先进的，还是偏于保守的；还要按不同勘查阶段的不同评价深度，分别就矿产资源的形势和市场供需情况以及行情分析，产品销售渠道，未来企业的经济效益等方面加以裁断。

(4)矿床技术经济评价的结论方面是否按与地质勘查各阶段相应的评价，为后继工作及风险投资的合理性提供科学的决策依据；是否为选择最优矿山开发方案提供可靠的基础，以有效地发展生产和经济合理地利用地下资源。

1.3 矿床技术经济评价研究与计算示例（供参考）

(1)某铅锌矿已取得了详查阶段评价勘探成果，在此基础上进行矿床技术经济评价。

1)目的 要解决的中心问题是，在目前技术经济条件下，本着择优勘探原则，对矿床能否转入勘探阶段（工业勘探）做出评价，对转入勘探后的预期经济效果做出评价。

2)技术经济评价的基础和原则

详查地质资料及矿床的地质评价。

根据矿床的规模、储量、开采技术条件、建设条件等，拟定矿床开发方案和矿山建设规模，因为矿床的可能开发方案是选取技术经济指标（各项计算参数）的基础。

评价的经济原则：

(a) 遵循经济平衡原则，用价格法或产值法计算出矿区的“最低工业可采品位”（临界工业品位、经济上收支平衡不亏不盈品位）与矿床平均品位进行比较分析，确定矿床工业价值。

(b) 预期的勘探经济效果应能达到或接近于全国同类矿床的中等水平。

3)矿区“临界工业品位”的确定

$$\text{临界工业品位} = \frac{1t \text{ 矿石的完全成本}}{(1 - \text{贫化率}) \times \text{选矿回收率} \times \text{精矿中 } 1t \text{ 金属价格}}$$

以某铅锌矿为例其计算参数如下（20世纪70年代水平）

①1t 矿石的完全成本包括：

采矿车间成本 按大中型矿 9 ~ 11 元/t 中小型 11 ~ 13 元/t；

原矿运输成本 暂定 1.0 元/t；

选矿车间成本（易选）大中型 10 元/t 中小型 12 元/t；

企业管理费：大中型 4 元/t 中小型 5 元/t；

精矿销售费 (公路 97km 铁路 660km) 1.5 元/t;

共计 大中型 25.5 ~ 27.5 元/t 中小型 30.5 ~ 32.5 元/t;

②采矿贫化率 产状平缓 厚 1m 按全面法房柱法回采 采矿贫化率为 15% ~ 20%。

选矿回收率 铅 92% 锌 93%。

精矿品位 铅 47.41% 锌 56.26%。

铅、锌两种金属换算成单一金属:

等值系数 $K = \frac{\text{伴生元素价格} \times \text{伴生元素回收率}}{\text{主元素价格} \times \text{主元素回收率}}$

如含铅 47.41% 的铅精矿中 1t 金属售价 1510 元/t;

含锌 56.26% 的锌精矿中 1t 金属售价 890 元/t;

则锌换算成铅, $K = \frac{890 \times 93\%}{1510 \times 92\%} = 0.596$

铅换算成锌, $K = \frac{1510 \times 92\%}{890 \times 93\%} = 1.678$

⑥矿床临界工业品位的计算。

按采矿贫化率为 20% 并按大中型规模矿山计算。

铅的临界品位 = $\frac{25.5 \sim 27.5 \text{ 元/t}}{(1 - 20\%) \times 92\% \times 1510 \text{ 元/t}} = 2.27\% \sim 2.47\%$

锌的临界品位 = $\frac{25.5 \sim 27.5 \text{ 元/t}}{(1 - 20\%) \times 93\% \times 890 \text{ 元/t}} = 3.85\% \sim 4.15\%$

按该矿床详查结果, Pb 的平均品位为 0.55%, Zn 的为 1.80%。

则 0.55% 的 Pb 折算成 Zn 为 $0.55\% \times 1.678 = 0.928\%$

1.80% 的 Zn 折算成 Pb 为 $1.80\% \times 0.596 = 1.073\%$

那么全矿以铅为准的平均品位 (综合品位) 为 $0.55\% + 1.073\% = 1.623\%$

4 预期的勘探经济效果分析

勘探工程量 该铅锌矿勘探时划为第 III 勘探类型 钻探网度 100m × 50m 取 C 级储量, 用一定数量的坑道提高首采地段的勘探程度, 验证钻探效果取得 B 级储量, 预计共需钻探工程量 35600m (包括以前的 5600m) 坑探 1500m。

勘探费用 钻探成本按 60 元/m 坑探成本按 500 元/m 则需钻探费 180 万元 坑探费 75 万元 加上其它费用和管理费 共需勘探费 300 万元 再加上工业勘探以前阶段的投资 50 万元 总共 350 万元。

预期获得储量 铅金属 6.84 万 t 锌 16.82 万 t 共 23.66 万 t。

勘探周期 普查和详查 7 年 工业勘探 3 年 共 10 年。

⑤所以预期的勘探经济效果是:

(a) 每米勘探工程获得的金属量为 $23.66 \text{ 万 t} \div (35600 + 1500\text{m}) = 6.23\text{t/m}$

(b) 探获 1 吨金属所需的勘探费用为 $350 \text{ 万元} \div 23.66 \text{ 万 t} = 14.79 \text{ 元/t}$

(c) 勘探费用占矿床经济价值的比例

矿床经济价值 = 金属量 × 采矿回收率 × 选矿回收率 × 冶炼回收率 × 金属单价

铅 = $6.84 \times 80\% \times 92\% \times 90.25\% \times 2130 \text{ 元} = 9784.67 \text{ 万元}$

锌 = $16.83 \times 80\% \times 93\% \times 88.47\% \times 1930 \text{ 元} = 21380.13 \text{ 万元}$

合计 31164.80 万元

所以勘探费用占矿床经济价值的比例是：

$$350 \text{ 万元} \div 31164.80 \text{ 万元} = 1.12\%$$

(注 金属量中未考虑各级储量的允许误差)

(d)经济效果分析：根据上述计算结果与当时国内类似矿床的勘探经济效果比较，均落后于全国中型矿床的平均指标，见表 1。

表 1 经济效果比较表

项	目	全国 28 个中型矿床		本矿床
		实际	平均	
1	1m 勘探工程获金属量(t)	2.4 ~ 29	10.6	6.23
2	1t 金属量的勘探费用(元)	2.08 ~ 35.81	12.09	14.79
3	勘探费与矿床价值比(%)	0.51 ~ 3	0.89	1.12

(e)矿床经济评价初步结论

①与临界工业品位比较：矿床平均品位 Pb 0.55% ,Zn 1.80% 折算后 Pb=1.623% 但当时临界工业品位经计算为 Pb 为 2.27% ~ 2.47%、Zn 为 3.85% ~ 4.15% 可见其低于收支平衡品位，企业将亏损，目前不宜对矿床进行工业勘探。

②但该矿可以大部分用平窿开拓 水文条件简单 矿岩稳定性好 矿石性质简单 可选性好，又处于有利的经济地区，这些对矿床的开发建设又有利。

③从勘探经济效果看，处于全国同类矿床的中下水平，是与品位低矿体厚度小等地质特征有关的 但如能缩短勘探周期降低勘探成本 特别是坑探成本 则效果将提高 而在勘探工作中如能掌握好地质特征和成矿规律，将地质研究与工程控制有效地结合起来，则可更加有效地布置勘探工程，节省勘探工作量，提高勘探经济效果。

④根据矿石可选性试验，铅精矿中含银 4g/t 按我国铅锌生产矿山的资料，一般铅精矿中一旦含银则应有较高的含量，因此本矿床的含银情况应进一步研究和查明，以提高矿床的经济价值。

⑤本矿床在经济评价工作中，对供水供电情况不明是不足之处。

上述矿床技术经济评价示例中的各项参考指标并非当前实际情况，示例的着眼点只是概要地展示矿床技术经济评价的要点，供大家参考而已。

矿床经济效益的评价方法 公式 还可介绍如下：

不计价评价法 即总利润 = (矿山最终产品售价 - 原矿成本 - 选冶加工成本) × 最终产品总量 - 基建总投资。

$$\text{西方净现值法 净现值} = E \times \frac{(1+r)^T - 1}{r(1+r)^T}$$

上式中 E 年平均净值 = [单位价格 - (单位成本 + 勘探成本)] × 总产量 ÷ 开采年限；
r 贴现率 一般取 15% ; T = 服务年限。

上述四个阶段不过是依据矿产勘查工作的风险性和阶段性等特点，回顾了我国的矿业地质工作 20 世纪 50 年代全国学习苏联 60 年代破条条框框 70 年代后期调整和恢复 80 ~ 90 年代的发展和引进西方的技能和标准等过程) 在总结经验教训的基础上 结合我国的具体情况和业已形成的习惯做法，经过各有关部门长时间的共同研究讨论所确定的一般性规定。当然

也可以根据矿种和矿床类型的不同，矿床规模的大小，勘查工作的难易程度和矿床开采技术条件的差异等，在经过有关部门的专家咨询机构的认同下而有所变通。例如，对复杂类型的小型矿床可以不求 B 级储量。又由于同一矿床的不同矿体可以属于不同勘探类型，而赋存在大的主矿体延展范围内的上下盘小矿体，对其只能在勘探主矿体的同时，用同样的勘探工程网度，大体上控制其赋存规律，分布情况，小矿体的个数及其与主矿体的关系等。处于主矿体上盘的首采地段的小矿体虽与主矿体有一定距离，也应以系统工程控制，对具有一定规模的小矿体也应求得 C 级储量。对于乡镇企业或个体经营的小矿山，根据 C + D 级储量也可作为建设依据。个别情况下在普查报告的基础上探采结合生产也未尝不可。在大矿先小规模开发的情况下，既可在矿床整体勘探的基础上选择地表浅部富矿段先按小型矿山生产，也可在勘探阶段之前选择适当地段先按小型矿床合理勘探研究程度要求，进行小型矿山的设计和建设。

我个人认为作为矿山地质人员，地质勘查人员和矿山企业设计地质人员都是直接或间接为矿山建设和生产服务的，同属矿业地质范畴，应具备同等的业务工作能力，如在评价地质勘探研究程度与资料完整程度、审查地质勘探报告、矿床综合评价和综合利用、储量计算和矿床技术经济评价、岩体力学性质与矿床开拓和采矿的关系以及矿石物质组分及其工艺性能与选（冶）的关系等方面。但矿山地质工作者的本职工作和突出作用，在于从事矿山生产期间的探矿，进行矿体的二次圈定，使储量升级，开采贫化损失的管理和对不可再生的矿产资源的充分利用和保护等。在大型矿山企业有自己的地质勘查队伍的情况下，还要进行矿床的探边摸底和外围找矿工作。当找到与矿山本区在成因类型、勘探类型和工业类型乃至矿石物质组分和可选性方面都相似的新矿床（点）时，虽不一定非按四个阶段的勘探程序进行，即可酌情开发，但矿床技术经济评价工作也还是要进行的。矿山地质人员的突出作用还在于从经济角度，随着市场条件的变化向企业领导提出合理化建议，以便能使矿山企业正常地持续生产或取得更好地经济效益。例如是贫富兼采呢还是采富保贫或先富后贫；是自上而下、自外而内地顺序回采呢，还是自内而外地倒退式回采？则完全要以矿山企业的经济效益为前提，一般说当矿产品市场价格稳定时，可以按正常回采顺序贫富兼采，价格提高时在生产成本不变的情况下可以降低出矿品位多出矿；也可以考虑提高出矿品位多采富矿，及时取得更高的盈利。这就是说矿业地质人员在当前市场经济条件下，更应具备经济观点。

总之，市场经济是法制经济，矿产储量和矿产品，作为商品都要依法受到质量监督和检验。在勘查成果可以作为矿权转让的情况下，勘查工作既要降低风险度又要保证成果的质量，矿山建设既要要求探获的矿产资源的保证程度高又要在生产经营中获得足够的经济效益。可见，不论今后市场经济的发展如何，矿床的技术经济评价或矿山建设可行性研究工作都是应该予以肯定的。

2 工业指标问题

就上述矿床技术经济评价和可行性研究的内容和目的而言，在影响评价的经济效益的众多因素中，主要是矿产储量、品位和矿产品市场价格。计算的矿产储量多少与矿石品位的高低有关，而品位指标的确定又受矿产品市场价格的制约。由于储量计算工业指标在量和质的方面制约着矿产储量和工业品位，所以储量计算工业指标的确定是一个关键的问题。

2.1 工业指标的含义、作用及其制定原则

(1) 因为构成矿石的条件是必须含有一定量的一种或几种有益金属组分或非金属组分，只

有达到这个含量品位时，在现今的经济、技术和自然环境下，对它进行开采和加工才是具有经济效益和能够做为商品交换的。因此矿产储量的计算就要有个标准，以便计算时把合乎工业要求的可以利用的储量（表内的、经济的和边界经济的）和不符合工业要求的暂不能利用的储量（表外的、次经济的）以及不能在工业上利用的含矿岩石（废石）分开。这种按照一定的工业要求来进行储量计算的标准就叫储量计算工业指标（简称工业指标）。

(2) 工业指标的作用是没有它就不能圈出工业矿体、计算工业储量，没有工业指标就不能对所勘查的矿床做出工业评价。工业指标确定得不合理也会严重影响矿床经济价值的正确评价，因为工业指标的确定将直接影响所圈定矿体的体积、形态和矿石平均品位，对采矿、选矿工艺也有影响。但是工业指标是根据建设需要和市场经济规律以及科学技术水平的变化而变化的，不是静止的、一成不变的。

(3) 因此制定工业指标的原则应体现出矿产资源的经济效益、社会效益和资源效益。即经济上要合理，保证矿山企业的经营能够盈利；技术上要符合该矿产资源的采选冶加工技术特性和生产技术管理水平的现状；还要考虑国家需要和市场需求；以及地下矿产资源的不可再生的特性，要最大限度地回收可以利用的资源；保证矿体圈定的合理性和完整性，勿人为地复杂化或简单化。制定工业指标的时机最好在详查后勘探阶段进行储量计算之前。

2.2 工业指标的制定方法，过去常用的主要有：

(1) 传统的综合方案比较法。其特点是采用双重指标法，即使用最低工业品位和最低边界品位，以及最低可采厚度、夹石剔除厚度等指标圈定矿体。特殊情况下还可以有特殊的指标要求，如有害组分的最大含量、矿石品级的划分标准、氧化矿指标、铝土矿的铝硅比、汞矿的含汞率、采金船采砂金矿的可采宽度等。传统的综合方案比较法的作法是在前面的两项指标中先选择几个工业指标方案进行计算比较，然后根据如上所述的原则确定出一个当时技术经济上最合理的指标方案。此法对各种类型的大、中、小矿床和不同勘查阶段（详查和勘探）都能应用。对薄矿体而言，若其厚度小于最低可采厚度要求，但品位大于最低工业品位时，可以采用与最低工业品位数值一致，厚度与品位二者乘积的最低工业米百分值的指标。

传统综合方案比较法示例如下。

1) 某铜矿的地质和开采技术条件为一埋藏较深的中、晚石炭世沉积成矿后，又有花岗岩侵入，局部砂卡岩化叠加成矿的砂卡岩型矿床；含铜角岩与含铜砂卡岩互层，矿体水平长度 50~800m，斜长 600m，矿山设计规模为 2000t/d；用留点柱的水平分层尾砂充填法采矿，采掘比 250m³/万 t；竖井提升高度 600m，开采损失 20%。

2) 全部试料分析结果，经统计分级如表 2 所示。

表 2 某铜矿矿石试样分析统计表

含铜品位 (C/%)	各级试料占总试料的百分数
< 0.2	5
0.2 ~ 0.3	15
0.3 ~ 0.4	10
0.4 ~ 0.5	10
0.5 ~ 0.75	30
0.75 ~ 1.0	23
1.0 ~ 2.0	5
> 2.0	2