




金属矿床露天转地下 协同开采技术

任凤玉 李海英 著

JINSHU KUANGCHUANG LUTIAN ZHUAN DIXIA
XIETONG KAICAI JISHU

非
外
借

 冶金工业出版社
www.cnmip.com.cn

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

金属矿床露天转地下 协同开采技术

任凤玉 李海英 著

北 京

内 容 提 要

本书是一部系统介绍金属矿床露天转地下协同开采技术的专著。书中详细阐述了过渡期露天地下协同开采的基础理论与工艺方法,包括露天转地下楔形过渡开采模式、应用诱导冒落法开采挂帮矿技术、释放露天地下产能的技术方法、控制边坡陷落岩移方向的地下采空区尺度的计算方法、复杂形态矿体的三维探采结合方法、诱导冒落简易形成覆盖层技术、露天地下开拓系统的协同布置方法以及露天地下产能协同增长方法等。此外,书中还介绍了协同开采技术在海南铁矿的应用及效果。本书理论联系实际,在采矿理论与技术方面均具有创新性和实用性。

本书可供采矿科研院所的研究人员、大专院校采矿工程专业的本科生和研究生,以及矿山工程技术人员阅读与参考。

图书在版编目(CIP)数据

金属矿床露天转地下协同开采技术/任凤玉,李海英著.
—北京:冶金工业出版社,2018.1
国家科学技术学术著作出版基金
ISBN 978-7-5024-7715-8

I. ①金… II. ①任… ②李… III. ①金属矿开采
IV. ①TD85

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2018) 第 009686 号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷 39 号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcs@cnmp.com.cn

责任编辑 张耀辉 杨 敏 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 王永欣 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7715-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;北京建宏印刷有限公司印刷

2018 年 1 月第 1 版,2018 年 1 月第 1 次印刷

148mm×210mm;4.25 印张;125 千字;125 页

30.00 元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街 46 号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

序 言

我国金属矿山露天转入地下开采过渡期露天地下生产相互干扰、产量衔接困难的难题一直没有得到很好解决。本书突破了在露天转地下过渡期保护地采边坡稳定性的传统观念，从允许边坡有控制塌陷、利用地下采空区形状与容积控制塌陷岩移方向的新观念出发，研发出边坡岩移控制的新方法，进而研究出一整套露天转地下同时开采的新技术——露天地下楔形转接协同开采技术，有效扩展了露天地下开采时空，解决了露天转地下过渡期产能衔接的技术难题。

本书作者多年从事采矿方法研究工作，凭借颇深的岩体冒落规律与散体移动规律研究造诣，从分析传统过渡模式对高效开采的不适应性出发，提出楔形转接过渡新模式和系统的露天地下协同开采技术。该书详细介绍了过渡期露天地下协同开采的基础理论与工艺方法，及其在海南铁矿的工程实践应用，并在应用研究中提出挂帮矿提前高效开采技术、复杂矿体三维探采结合技术、高陡边坡岩移控制方法，以及覆盖层简易形成方法等实用技术方法。这些技术先后在海南铁矿、黑山铁矿、大孤山铁矿等国内多座矿山应用，增产增效与节能减排成效显著，具有广泛的应用前景。

该书是一本理论联系实际，富有高效开采新观念与新

技术，实用价值高的好书，值得采矿科研院所的研究人员、大专院校的采矿本科生与研究生，以及矿山有关工程技术人员去阅读和使用。该书的出版，是矿业技术创新的一大喜事。

北京科技大学 蔡美峰

2017年11月16日

前 言

随着地下开采技术的快速进步，目前露天开采相对于地下开采的优势已经发生许多变化，深凹露天开采在环境保护、生产成本与矿体单位面积生产能力方面，均不如地下高效开采。目前限制露天转地下开采平稳过渡的最主要因素，是常规的露天转地下过渡方法，露天地下同时开采的相互干扰大，导致过渡期安全生产条件差与产能衔接困难。为解决这一问题，就需要在过渡期最大限度地消除露天地下同时开采的相互干扰因素，拓展露天地下同时开采的时间与空间，充分发挥露天地下生产的各自优势。

本着这一思路，作者针对露天地下的矿床开采条件，分析了露天与地下高效开采的基本条件，以及传统的预留境界矿柱过渡方法的不适应性。境界矿柱在隔离露天采场与地下采场的同时，也隔断了矿体开采的连续性，在时间和空间上不能满足矿床高效开采的需求。为此，书中在总结露天转地下研究成果与生产经验的基础上，提出了消除境界矿柱困扰的露天地下楔形转接过渡方式。

在楔形转接过渡方式下，露天采场与地下采场相毗邻，需要露天地下协同开采，以开创露天与地下安全高效生产环境，快速增大过渡期产能。作者集多年研究成果，构建了露天地下协同开采方法及其相关工艺技术，并在海南铁矿应用

中，开发了复杂矿体三维探采结合技术，进一步解决了协同开采方法实施中生产探矿速度跟不上高强度开采需求的矛盾，由此形成了较完整的露天转地下楔形过渡开采理论与工艺技术。本书力争将这一理论与工艺技术用简单明了的方式呈现给读者。

本书内容所涉及的研究工作，得到了国家自然科学基金重点项目（51534003）和“十三五”国家重点研发计划项目（2016YFC0801600）的资助。在本书撰写过程中，相关现场原始材料的收集，得到海南矿业股份有限公司兰舟总工、王春贤工程师等以及西钢集团灯塔矿业有限公司赵云峰总工等的大力支持。本书的出版得到国家科学技术学术著作出版基金的资助。在本书即将出版之际，作者一并表示衷心的感谢与敬意。

由于时间仓促，书中难免有不当之处，恳切希望读者不吝赐教。

作 者

2017年10月28日

目 录

1 绪论	1
2 露天转地下过渡模式	3
2.1 常规过渡模式	3
2.1.1 境界矿柱过渡模式	3
2.1.2 境界矿柱+覆盖层过渡模式	6
2.1.3 三层过渡方式	7
2.2 露天地下楔形转接过渡模式	9
2.2.1 过渡期高效开采的基本条件	9
2.2.2 楔形转接过渡模式	14
3 过渡期边坡岩移协同控制方法	17
3.1 边坡岩移危害与控制原理	17
3.1.1 边坡岩移危害	17
3.1.2 挂帮矿开采方法与边坡岩移控制原理	18
3.2 边坡岩移协同控制方法	19
3.2.1 岩移进程控制方法	19
3.2.2 边坡岩移塌陷与滑移方向控制	21
3.2.3 露天拦截工程	22
4 过渡期开采境界细部优化	25
4.1 细部优化的原则	25
4.2 过渡期露天与地下高效开采需求	28
4.2.1 露天延深高效开采技术	28
4.2.2 挂帮矿诱导冒落法高效开采技术	30

4.3 开采境界细部优化方法	34
5 过渡期产能协同增大方法	38
5.1 过渡期地下产能快速增大方法	38
5.1.1 制约地下产能的主要因素	38
5.1.2 挂帮矿诱导冒落开采方案构建	40
5.1.3 挂帮矿开采时间与诱导工程位置确定方法	44
5.1.4 崩落回收区同时生产分段数的确定方法	46
5.2 过渡期露天产能延续方法	48
6 过渡期开拓系统的协同布置	50
6.1 开拓协同布置的原则	50
6.2 协同布置方法	50
6.2.1 露天开拓系统的协同布置	50
6.2.2 地下开拓系统的协同布置	52
6.3 辅助开拓	54
6.4 措施工程	55
7 覆盖层的形成方法	59
7.1 覆盖层的作用	59
7.2 覆盖层对放矿的影响	60
7.3 覆盖层的安全厚度计算	63
7.4 覆盖层的简易形成方法	64
8 露天地下协同开采技术	67
8.1 协同开采方法构建	67
8.2 主要协同技术体系	69
9 协同开采技术在海南铁矿的应用示例	73
9.1 矿山地质与生产概况	73
9.1.1 矿山地质概况	73

9.1.2 海南铁矿生产概况	76
9.2 可冒性分析	77
9.2.1 结构面调查及数据处理	77
9.2.2 岩体稳定性分级	79
9.2.3 矿岩可冒性分析	80
9.3 无底柱分段崩落法高效开采的结构参数	84
9.3.1 分段高度的确定	84
9.3.2 进路间距的确定	85
9.3.3 崩矿步距的确定与优化	87
9.3.4 回收进路	89
9.4 挂帮矿诱导冒落法开采方案	90
9.5 三维探采结合方法	92
9.5.1 探采结合的意义与技术	92
9.5.2 探采结合工程	92
9.6 露天地下协同开采方案	99
9.6.1 露天地下协同开采顺序	99
9.6.2 挂帮矿主采区开采方案	102
9.6.3 挂帮矿体结构参数优化	108
9.6.4 挂帮矿的放矿控制方法	109
9.7 露天地下协同防控岩移危害	111
9.7.1 岩移范围与塌落控制	111
9.7.2 露天边坡滚石防护	115
9.8 露采境界细部优化	118
9.9 诱导冒落形成覆盖层	119
9.10 协同开采方案的实施效果	120
参考文献	125

1 绪 论

我国 90% 的露天金属矿山均已进入深部开采，其中许多矿山已经或陆续转入地下开采。在露天转地下开采的过渡期间，通常露天与地下同时生产，地下采动岩移常常危及露天边坡的稳定性，容易引发露天边坡滑移，威胁露天生产安全；同时，如果露天爆破震动控制不当，则会危害地下采准工程的稳定性，威胁地下生产安全。因此，在露天转地下开采的过渡期，普遍存在安全生产条件差和露天地下生产相互干扰的问题，由此或多或少影响了露天与地下的生产能力，造成过渡期产量衔接困难。

为解决这些问题，国内外采矿工作者围绕优选地下采矿方法、延长露天采场服务年限、控制过渡期相互干扰因素等方面，进行了大量的研究工作。国外从产量衔接与现金流量的需求出发，设计选用较长的过渡期，保障露天地下足够长的同时生产时间；同时注重地下采矿方法的研究工作，要求所选采矿方法及其结构参数高度适应矿床条件，以实现产能的平稳过渡。此外，国外对露天地下境界矿柱的合理尺寸也做了大量研究工作，提出了能够适用各种矿岩稳固条件的境界矿柱厚度计算方法，采用稳定的矿柱保证露天地下同时生产的安全。

国内矿山一般过渡期较短，在生产实践中形成了露天不扩帮延深开采、扩帮延深开采和加大边坡角回采挂帮矿等延长露天采场服务年限的工艺技术，以弥补过渡期露天生产矿量的不足；同时，根据矿山生产条件，灵活选用地下采矿方法与结构参数，采用足够厚度的境界矿柱隔离露天地下生产的空间联系，或在露天生产末期，形成足够厚度的覆盖层，保障地下生产安全^[1]。

上述研究成果，有效指导了矿山过渡期采矿方法的合理选择以及安全生产措施的系统建立，在不同程度上缓解了过渡期矿石产量衔接的难度。

但迄今为止，过渡期安全生产条件差和产量衔接问题仍然没有从根本上得到解决，致使许多大型金属矿山，包括我国近年露天转地下开采的铁矿山，普遍出现减产过渡或停产过渡现象。究其原因，主要是这些研究主要以传统的露天转地下过渡模式为基础，从保持露天应有的开采条件逐步过渡到地下应有的开采条件的角度出发，解决相应的生产与安全问题，虽已形成了较为完整的理论与技术体系，但无法保障过渡期露天与地下同时开采的时空条件，从而不能充分发挥露天与地下的生产能力，造成过渡期产能衔接困难，严重影响了矿山企业的经济效益与可持续发展。为此，从拓展开采时空需要出发，研究露天地下协同开采方法，最大限度地消除露天地下同时开采的相互干扰因素，改善露天地下的生产与安全条件，增大露天与地下的生产能力，从根本上解决过渡期产能衔接困难问题，保障金属矿山露天转地下的可持续发展。

本书基于作者近年在岩体冒落规律与控制技术、散体侧压力支撑作用与利用技术的研究成果，在总结露天转地下工艺研究与生产经验的基础上，从露天与地下高效开采的基本需求出发，分析传统的用境界矿柱或散体垫层相隔离的过渡模式对矿床高效开采的不适应性，研究提出露天转地下符合高效开采要求的楔形转接过渡模式；在此基础上，研究了新过渡模式下的露天地下协同开采方法，包括挂帮矿诱导冒落采矿方法、坑底矿露天陡帮延深开采方法、露天开采境界细部优化方法、边坡岩移危害的防控方法、露天地下产能协同方法、开拓系统协同布置方法，以及覆盖层协同形成方法等；最后，将研究得出的露天地下协同开采方法应用于海南铁矿的生产实际，进一步研究挂帮矿提前高效开采技术、复杂矿体三维探采结合技术、高陡边坡岩移危害协同防控技术以及覆盖层简易形成方法等，形成了完整的露天转地下过渡期协同开采理论方法与工艺技术，为从根本上解决过渡期安全生产条件差与产能衔接困难的难题开辟了新途径。

2 露天转地下过渡模式

2.1 常规过渡模式

在露天转地下开采的金属矿山，常规的过渡模式主要有境界矿柱过渡模式、境界矿柱+覆盖层过渡模式以及设置过渡层的三层过渡模式。

2.1.1 境界矿柱过渡模式

露天转地下过渡期为露天地下同时开采时期，为确保露天采场生产安全和露天地下具备同时生产条件，国内外常用预留或人工构建境界矿柱的过渡方式^[2]，即在露天最终境界部位，预留或构建一定厚度的隔离矿柱（简称境界矿柱），将露天生产与地下生产的空间隔开（图 2-1），以此消除二者间的相互干扰。

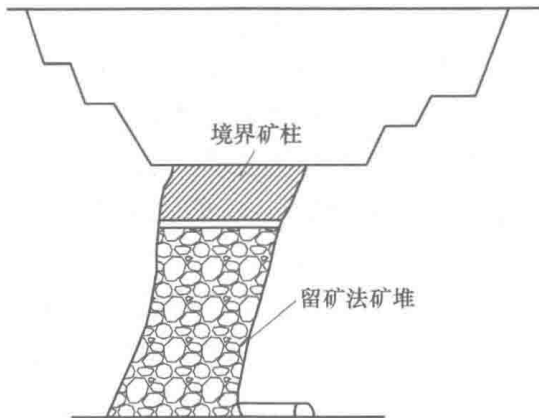


图 2-1 传统的境界矿柱过渡模式

预留境界矿柱的过渡模式，地下开采时需要保障境界矿柱的稳定性，为此一般先用空场法或充填法开采境界矿柱之下的矿体，其中以留矿法开采居多。将采场内的矿石暂不放出，以支撑矿块的间

柱与围岩，维护境界矿柱的稳定性，待露天开采结束或境界矿柱回采完成后，再放出采场内的存留矿石。

境界矿柱过渡模式，由于简单易行、适用各类矿体条件，在国内外金属矿山得到了广泛应用。这种过渡模式存在的主要问题是：在时间上，露天开采时，地下不能用适宜的采矿方法开采，即露天与地下不能用最佳采矿方法协同开采；在空间上，境界矿柱隔断了矿体开采的连续性，尤其将挂帮矿体与下部主矿体隔断开来，且常常要求挂帮矿体回采结束后，再开采下部主矿体。这样，将挂帮矿体作为小矿体单独进行开采，无论是采用露天开采方法扩帮开采，还是用地下开采方法开掘平硐开采，都难以达到开采大矿体应有的生产效率，加之过渡期间地下开采不能选用适宜采矿方法，往往造成开采效率低下与矿石产量不足。

另一方面，境界矿柱的回采难度大，安全生产条件差。境界矿柱是从大矿体分离出来相对较小的一层孤立矿体，不仅因矿体厚度相对较小不能进行大规模开采，而且由于受下部采场的采动影响，矿岩弱化，稳定性差，且受下部采空区威胁，导致施工不安全。境界矿柱常用的回采方法主要有三种：中深孔一次崩落法，浅孔扩大漏斗回采法与露天下降平推回采法^[3]。

(1) 中深孔一次崩落法。该法有两种常用方案：一种是在矿体下盘掘进凿岩巷道，利用中深孔集中爆破崩落境界矿柱（图 2-2a）；另一种是利用采场内存留矿石作为工作平台向上打中深孔，利用预先施工的切割井进行爆破（图 2-2b）。前者优点是，在露采结束后可以及时放出存留在地下采场内的矿石，有利于露天转地下的产能衔接；缺点是需要开掘专用的凿岩工程及其通道，不仅增大了采准工程量，而且邻近空区的下盘凿岩巷道受下部空区影响，稳定性差，在掘进与凿岩爆破过程中的安全生产条件较差。此外，凿岩巷道的掘进、凿岩爆破及其与下部采场间柱协同崩落等，回采工序较复杂，影响地下生产和产能。后者的优点是不需要开掘专用的凿岩工程，缺点是无论切割井或中深孔，都是在强度被弱化的顶板之下施工，存在安全条件较差与生产效率低、不利于产量的衔接的弊端。

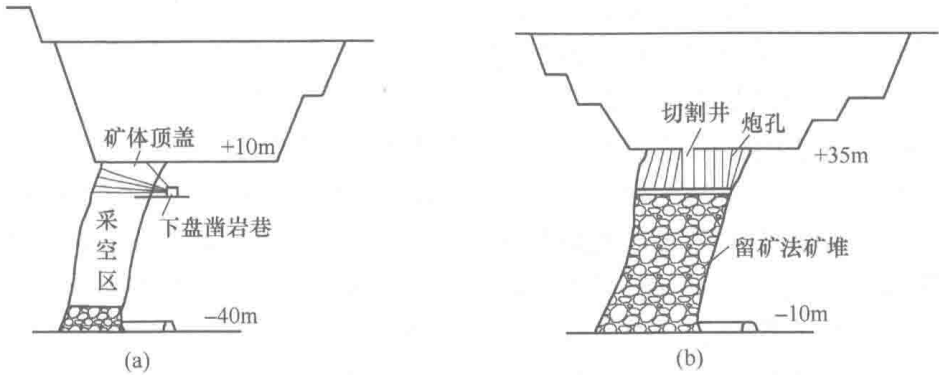


图 2-2 境界矿柱中深孔一次崩落回采方法示意图

(a) 扇形中深孔一次崩落顶盖示意图；

(b) 垂直中深孔一次崩落示意图

(2) 浅孔扩大漏斗回采法。在露天回采结束后，从留矿法采场打上向切割井，与露天采场通透后，从露天向下打浅孔扩大切割井断面，形成漏斗状回采工作面，逐步完成境界矿柱的回采（图 2-3）。这种方法的优点是境界矿柱与地下采场利用同一凿岩设备回采，缺点是除了上掘切割井与下向浅孔施工安全条件差之外，还存在着浅孔下向扩漏效率低以及与下部矿房放矿协同关系复杂等问题。因为该法崩落的矿石流入采场，采场矿石放出后的空顶高度，要求始终保持在境界矿柱之下 1~2m 的范围之内，以防止操作工人掉入采场摔伤。受此影响，该法安全条件差、效率低的问题更为突出。

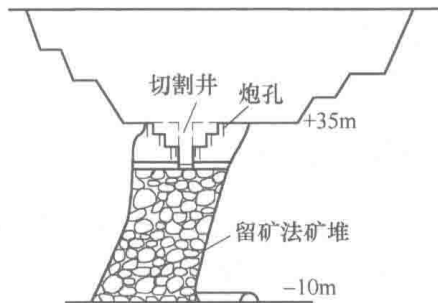


图 2-3 境界矿柱浅孔扩大漏斗回采法示意图

(3) 露天下降平推回采法。在采场内打与露天相通的充填井，然后放出采场内的矿石，通过充填井向采场充入废石，待采场充满后，露天按正常顺序平推，或者下降台阶再平推回采境界矿柱（图 2-4）。该法的优点是地下可用效率较高的空场法开采，或用留矿法开采，在露天采场下降到境界矿柱后，马上放出地下采场存留的矿石，从而延长了露天地下同时生产的时间，有利于露天转地下产能衔接；缺点是充填废石是在采场空区之上作业，安全条件差，而且充入采场内的废石，经过高落差摔砸碰撞，块度变小，在其下矿体回采时，将变成小块度覆盖层，容易造成较大的矿石贫化率。此外，充入采场内的废石接顶后，才能采用露天开采方法回采境界矿柱，而受充填范围的限制，所需充填井的数量多，工程量大，施工比较困难。

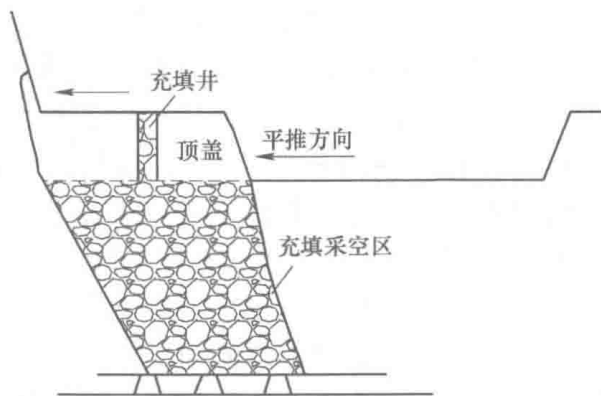


图 2-4 境界矿柱露天下降平推回采法示意图

预留境界矿柱开采模式由于过渡期地下开采效率低、境界矿柱回采困难等原因，造成该模式的产量衔接比较困难。

2.1.2 境界矿柱+覆盖层过渡模式

由于预留境界矿柱开采模式存在诸多问题，近年生产实践中，对过渡模式进行了许多改进，主要表现在坑底用散体垫层代替境界矿柱，仅在挂帮矿预留境界矿柱，从而形成境界矿柱+覆盖层过渡模式（图 2-5）。这种模式挂帮矿与露天坑底矿同时开采。挂帮矿用留

矿法开采，保护境界矿柱；坑底矿露天开采至境界后，人工形成散体覆盖层，保障其下矿体直接用无底柱分段崩落法开采。覆盖层的形成方法，大多采用回填废石、爆破边坡围岩和从露天坑底打深孔崩落矿石三种人工形成方法，出于地下采场缓冲降雨水害、避免露天边坡岩移冲击以及地下保温等方面考虑，要求覆盖层的厚度一般不小于40m。境界矿柱+覆盖层过渡模式的主要优点是，取消了回采难度较大的底部境界矿柱，在覆盖层下直接应用地下高效采矿方法开采，方便了露天坑底部矿石的回采，有利于地下生产能力的快速提高。但在挂帮矿开采期间，依然有相当长的时间需要保留境界矿柱，导致此期间挂帮矿不能用适宜的采矿方法与露天协同开采，加之挂帮矿体内部的开采对外部的扰动，不可避免地降低边坡的稳定性，恶化露天采场的生产安全条件。此外，露天开采到境界后，需形成覆盖层后，方能用无底柱分段崩落法开采下部矿体，因此，对于露天坑下部的矿体，地下不能接续露天开采。可见，这种境界矿柱+覆盖层过渡方式，在空间与时间上依然存在着露天与地下不能协同开采的问题，由此成为迄今为止未能很好解决的过渡期产能衔接难题。

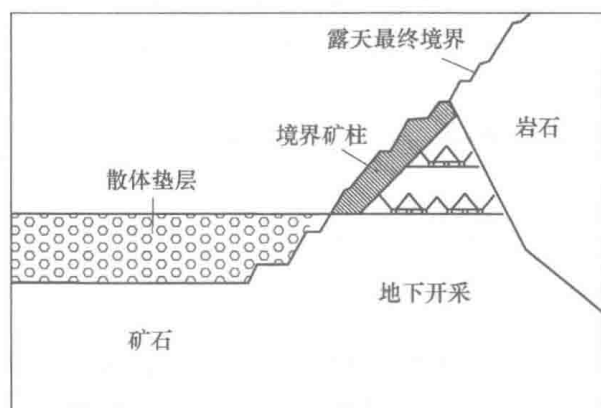


图 2-5 境界矿柱+覆盖层过渡模式

2.1.3 三层过渡方式

20 世纪 70 年代，苏联采矿专家 B. И. 捷林切夫教授和阿戈什科