

第六届国际充填采矿会议 论文选集

主编 刘同有 黄业英

金川有色金属公司

长沙矿山研究院

中国有色金属学会采矿学术委员会

一九九九·四



第六届国际充填采矿会议 论文选集

主编 刘同有 黄业英

一九九九·四

前 言

第六届国际充填采矿会议于 1998 年 4 月 13 ~ 16 日在澳大利亚昆士兰布里斯班召开。有 15 个国家 150 多位专家出席了会议, 发表论文 56 篇。此次大会的主题是充填工艺的进步, 从整个交流内容看, 近年来高浓度自流输送和膏体泵送充填工艺都有比较深刻的变革和进步。从主题报告以及世界上主要使用充填采矿法的国家所发表的论文来看, 膏体充填采矿系统及其相关技术则是此次大会技术交流的重点。国外实践经验证明膏体充填在采场充填效率和管道输送上优于高浓度充填, 但含集料的膏体充填料方案有很大的技术风险性。加拿大应用贮仓技术制备膏体充填料方面已取得突破性进展。此外, 如制备膏体的深浓密机系统、高速高剪力胶体搅拌机、控制粘度条件下高浓度膏体的制品、管流对隔墙造成的破坏机理、井下充填料分配系统的优化以及膏体充填体的物理力学特性的研究等等都取得了重要进展, 相应地还出现了专门的高浓度膏体充填研究试验站和为矿山提供服务的膏体充填技术公司。目前, 加拿大已有 12 座矿山应用高浓度膏体充填, 南非和澳大利亚也有新建的膏体充填系统投产。新的充填工艺将可以更好地满足保护资源、保护环境、提高效益、保证矿山可持续发展的要求。充填采矿在 21 世纪的矿业发展中将有更加广泛的前景。

中国有色金属学会派出以杨焕文为团长、刘同有为副团长的八人代表团出席此次会议(中国矿业大学也派三人代表团参加会议), 并提出在我国举办下届充填采矿会议的申请, 这是我们首次组团参加这一国际交流活动。我国充填采矿技术的成就受到与会专家的关注和好评, 大会主题报告中指出“未来的中国将是开发矿山充填技术成果的来源”。但与国外技术进展相比, 在我国现实生产中大多数矿山仍然是以

经验为主来进行管理,在科技投入、经济与环境分析、理论研究和创新工作方面明显不足,国外许多先进经验值得我们很好地借鉴。我们的申请也得到大会主席的大力支持。在大会主席召开的工作会议上,做出以下决定:组成一个正式的国际充填采矿委员会,我国为委员会成员;国际充填会议以后每三年举行一次(以往为五年一次);2001年,第七届会议在美国举行,2004年,第八届会议在中国召开。通过这次活动,加强了我们与各国同行之间的紧密联系,推进了我国在充填采矿领域的国际交流与合作,必将有力地促进我国充填技术的发展。

1997年我们编译出版了“国外金属矿山充填采矿技术的研究和应用”一书,反映了第五届国际充填采矿会议的成果和南非、德国充填技术的发展。为了使大家更多地了解本次大会内容,更好地学习国外先进经验,针对我国金属矿山情况,我们从会议文集中选择了31篇,编成本集出版。文集仍按原来分类顺序编排并保留参考文献目录,以便查找。希望文集能对我国充填技术的研究和应用提供有益的帮助。

参加翻译、审校、编辑、出版的同志们,为本集的完成付出了辛勤的劳动,谨此表示衷心的感谢。

编者

一九九九年四月

目 录

第一部分 主题报告

矿山充填工作 25 年——开发成果和说明	1
加拿大充填法的最新发展和趋势	13
环境流变学和采矿工业	19

第二部分 充填系统与充填料制备

应用 CANMET 的贮仓技术制备膏状充填料	23
芒特艾萨恩特普赖斯矿扩建工程高浓度充填料和膏状充填料的调研报告	28
可靠排出高固体浓度的充填料仓的设计与操作	36
在控制粘度的条件下高浓度膏状充填料的制备	46
膏状尾砂在尾矿处理中的应用	52
坎宁顿工程膏状充填料制备站和分配系统的设计	60
采用胶体搅拌机的胶结块石充填系统的开发	66
独特添加剂技术在矿山充填中的应用——技术说明和典型实例	75
葡萄牙内维什科尔沃矿不同膏状混合料的流动环路试验	81
制备膏体的深浓密机系统	94

第三部分 充填料输送与脱水

芒特艾萨矿业有限公司 1992 ~ 1997 年的充填料的脱水研究	98
水砂充填料分配系统设计——得自实例研究的经验和教训	107
南非充填工艺的发展	116

第四部分 充填岩土力学

底柱回采——底部分层充填体稳定性要求和技术评价	125
西部地区金矿南深部矿体大量开采的充填原理	132
胶结废石充填最佳化——岩石磨损模型和充填天井方位的影响	139
垂直矿块采矿中胶结充填强度预测的统计模型	146
梯段回采作业充填	154
芒特艾萨矿业有限公司胶结废石充填研究 1992 ~ 1997	162
1991 ~ 1998 年 Doe Run 公司的矿柱回采	173
南非超深金矿区域支护的充填方案	182
试验室和现场测试的膏体充填体的物理力学特性	190

第五部分 充填设计与实例

秘鲁井下处置尾砂的水砂充填最优化	196
------------------------	-----

亨蒂金矿膏体充填的实施.....	202
法尔里夫斯深矿井板状矿体分区开采充填策略的探讨.....	211
南非一金矿的充填系统设计与充填作业.....	220
膏状充填料的制备及其在加拿大一些矿山的应用.....	232

第六部分 新的应用

用于地面和井下处理的电强化尾砂的初步研究.....	241
---------------------------	-----

矿山充填工作 25 年 ——开发成果和说明

澳大利亚考林联合公司 R. Cowling

1 前言

第 6 届国际充填采矿讨论会,与朱比利矿山充填讨论会 25 周年纪念几乎同时举行。1973 年 8 月在芒特艾萨召开的那次讨论会有几分是为了庆祝澳大利亚矿冶学会成立 80 周年,这次讨论会是一连串极其成功的讨论会中的第一次。随后在加拿大萨德伯里(1978 年)、瑞典吕勒欧(1983 年)、加拿大蒙特利尔(1989 年)和南非约翰内斯堡(1993 年)召开了讨论会。这个接连举行的讨论会已成为采矿工业部门日程表中的既定部分,都乐于知道哪一个国家得到组织下一次会的荣誉和接受该任务。

当该讨论会组织委员会的主席邀请(或者得到通知?)我准备作一次中心发言时,我感到他要求我的发言分几部分,既回顾、预测未来,又引起争论、饶有风趣。这些复杂的内容让我去组织,并附有一个条件:给澳大利亚矿山充填的早期倡导者应有的表彰。只有组织委员会主席能确定我是否完成这个最新任务。和其它任务一样,我能否获得成功,必须由我的同行——与会的各位代表来判断。

一种预测未来或其某一小部分的方法,是重新访问已经去过的地方,旨在确定可能影响未来的任何趋势的存在。评述充填实践和研究过去,特别着重过去 25 年间澳大利亚的经验和世界的一般经验,将使我能满足回顾历史和预测未来的要求。

要引起争论总是只要造出一张好表就行了,可保证每个人至少不同意一个提名。值此之际,最近 25 年来个人或小组在矿山充填工艺许多方面的最好著作,将是名义奖的依

据。只要提出许多问题,就可更加激起争论气氛,希望某些作者在其发言时讨论这些问题。我想象得到联谊会将十分热闹,但问题正好使争论更加热烈。

最后,我将对矿山充填的史实作出解释;提出一些问题和提几个名义奖,再插入一些逸事,我将有希望满足最后的要求,饶有风趣。

在对矿山充填的历史作简要的回顾以前,我认为首先必须对一些术语下定义。

2 定义

2.1 矿山充填

充填是什么?唯一的一本充填教科书(Thomas, Nantel 和 Notley, 1979)也没有充填的正式定义。请想一想,许多专业工程师、科学工作者、教师和管理人员聚集一堂讨论什么?也许我们都有各自的充填定义,这也许就是使用充填法可能有利可图的某些矿山没有采用充填法和另外一些矿山滥用充填法的原因。相反,充填法在许多矿山用得十分成功,正是这种成功的应用导致我在此采用的定义。

地下矿山充填料是用来充填回采后形成的空洞,以便经济合理地建立和保持安全作业条件的一种物料或多种物料(Wilson, 1979)。

在这方面,我的一个同事经常提醒我,可以将充填料看作把矿山结合在一起的“粘结剂”。这个观点对于选厂尾矿至少是一种充填料组分的采矿企业来说尤其正确。一般说来,如果使用尾矿作充填料,矿山和地面选厂主管人员必须经常互相配合,以期对整个企

业有益,否则他们考虑别的事情越多,服务期限就越短。

2.2 矿山充填工程师

也是这位同事提出了定义充填工程师的根据。从上述的“粘结剂”观点显而易见,充填工程师的作用必须着眼于矿山的前途。因此,就矿石而论:

- (1) 探矿地质工作者找出矿石;
- (2) 矿山地质工作者确定矿石量;
- (3) 采矿工程师贫化矿石;
- (4) 选矿工程师损失矿石;
- (5) 充填工程师一次又一次地利用矿石。

3 矿山充填的简要回顾

3.1 前言

阅读为我的这部分发言所检索到的文献时,很快就集中注意力于两件重要的事实。

虽然充填已使用了好多世纪,但只是在最近数百年内才有不止是合格参考文献的技术论文记载了其使用。在早期回采煤和铁矿石的钟形采坑中存在的填塞料,可证明充填已使用了数百年之久。矿工排弃地下废料(虽然不是矿山计划的一部分)的这种一直延续到现在的倾向证实,矿工总是使充填工程师失望。

第二个主要事实是,似乎在任何一个主要采矿国家都没有全面叙述过充填史实。这可能编写出许多册十分有意思的书。

在这里我不打算叙述这些事实。但是,我要试着勾划澳大利亚充填使用、研究和教学的简要发展史,回顾这个讨论会首届会议以来全世界的发展情况。

3.2 澳大利亚

3.2.1 实际应用

只要地下采矿存在,澳大利亚也许就实施充填工艺。即使现在,我们也可列举一些将掘进废石卸在地下的例子,或是按计划办的,或是非计划办的。但是,这次的历史回顾将集中于已导致采矿工作全面改进的那些实

际应用、研究和开发。事实上,物料的应用是服务于工程,而不只是处理物料。首先是在许多矿区实际应用。

3.2.2 芒特莱尔矿

系统采用充填的最早记载之一,是1915年塔斯马尼亚芒特莱尔矿和北莱尔矿应用废石充填的记载(Murray,1915)。在大约进入本世纪以来这种方法一直在应用中(Barkley,1927)。

用多种空场法回采了平面尺寸达到50 m×20 m、高20 m的一些大采场。每个采场都用圆顶,以利于通过顶板的溜井放入废石。圆顶和充填废石天然坡度的结合,导致帮壁的暴露面积最小。崩落的矿石通过架设在充填废石中的木溜井放出。

废石或是露天矿废石,或是露天矿废石加采石场专门开采的块石,视地理位置和用途而定。在充填井入口处向废石加水,结果就像湿混凝土,能很容易地流到采场帮壁而沉积。1个作业周期充填的废石达4000 m³。每个周期最后充填的废石块度较小,以密封充填体表面,而利于回收下一层崩落矿石。

据报导,每吨干矿石成本中废石充填费用为3便士,总采矿成本为5先令3便士。

现在我们从塔斯马尼亚州转到新南威尔士州布罗肯希尔。

3.2.3 布罗肯希尔

布罗肯希尔矿区各矿有许多开发成果,不仅对澳大利亚的采矿而且对全世界的采矿都产生了影响。我在这里只叙述一种成果:矿物回收浮选法的开发和随后水砂充填的采用。

关于浮选法的发明有相当多的争论,但是大多数代表会乐于知道一个有爱喝啤酒的嗜好的人是开发浮选法的先锋。查尔斯·波特,一位墨尔本的酿造啤酒者,和其他人知道一瓶啤酒中气泡上升现象。如果能使气泡携带容器内的矿物上升将怎样呢?(Blainey,1978年)。19世纪90年代末,波特试着将硫酸加入锌尾矿内,注意到酸生成的气泡吸引

矿物,将其浮升到面上。吉劳姆·德尔普雷特,布罗肯希尔控股公司第6任总经理,同今日的名家公司的先驱者,但没有布罗肯希尔各矿山的现行股份,于20世纪初独自发现了这种作用,那时采用盐块。

由于各种专利争端和法院案件,直到10余年以后这项技术才得到广泛应用。虽然情况如此,在1929年以前浮选尾矿还没有得到日常的应用,包括用于水砂充填。芒特莱尔矿和布罗肯希尔矿区各矿山都用了这种新充填料。在这里将摘要地介绍Black(1944年)和Symons(1940年)报导的布罗肯希尔矿区早期经验。

浮选尾矿通过分级机部分脱水和脱泥,得出 $-75\ \mu\text{m}$ 粒级一般约占15%的产品。需要时,将残余含水量5%~10%的尾矿向地下输送,通过溜井达到需要尾矿的水平。在这些地点,用有轨车辆、风力输送和水力输送将充填料送到各采场。到20世纪30年代末,水力输送成了主要的方法。

这种充填料曾用于平顶水平分层充填方框支架采矿法和房柱采矿法。有意思的是,后来完全认识了过多的水的不利影响,一般的砂浆浓度在固体含量70%~75%(重量)的范围内。

在使用水砂充填以前,很大力量不得不用在确保充填料密接采场顶板上。这就是充填(backfilling)这个术语的来源吧?由于这个术语不能描述通常采用的矿山充填(mine fill),我们应当停止使用这个术语吗?

最后,我认为,使用“水砂(水力)充填”(hydraulic fill)这个术语我们都感到满意。Fangel(1983年)提出,只有一种真正的水力充填法—采用冰,将挪威的一条冰河流向一座矿山而充填空洞。

这样的意见使人感到冰冷,为了让大家暖和暖和,下面转到昆士兰州芒特艾萨。

3.2.4 芒特艾萨矿业有限公司

很难知道从哪里开始描述芒特艾萨矿业有限公司在矿山充填方面的开发成果。矛盾

的是,由于时间过去了20余年,这变得更为困难。可以透视各项工作,以了解在南非举行上次讨论会时,芒特艾萨矿业有限公司那一年的充填量比该国所有其他矿山的总充填量还要多这件事情的实质。我在后文会再予以说明。

但是,有许多充填方面的开发成果对澳大利亚采矿企业的成功起了关键作用。这些成果包括大量使用胶结水砂充填料和采用其各种胶结块石充填料。

到芒特艾萨矿业有限公司开始采用水砂充填的时候,都优先采用旋流器给浮选尾矿脱水和脱泥。而且,水砂充填料是在地表制备,通过管道网路输送。胶结水砂充填料首先用于回采底柱(Jones,1970),那时普通水泥添加量占总重量的12%。

虽然在技术上取得成功,但是如果用于已设计大规模(500万t/a)回采的1100矿体,则费用过高。通过用废料部分取代硅酸盐水泥的调研,结果用磨细的铜反射炉炉渣取代50%的水泥(Thomas,1973)。目前,用3%的硅酸盐水泥与6%的上述炉渣制备的混合料的强度相当于加6%硅酸盐水泥的充填料的强度,费用降低约40%。硅酸盐水泥的用量可能仍超过40000t。

回采1100矿体的连续计划强调必须采用块石充填料,导致芒特艾萨矿业有限公司自家开发了各种胶结块石充填料。这种充填料一般是多于 $2/3$ 的块石充填料和约 $1/3$ 的胶结水砂充填料(按重量)的混合物。考虑到胶结水砂充填料有3%(按重量)的硅酸盐水泥,整体充填料的硅酸盐水泥含量不到1%。这种充填料因回采矿柱而经常被暴露,露出的尺寸超过200m高 \times 40m宽。有些充填体最终所有4个面顺次暴露(Bloss、Cowling和Meek,1993)。我会再一次转回到这个问题。

这些正是最近50年,尤其是最近30年,芒特艾萨矿业有限公司的许多充填开发成功实例中的两个例子。某些其他的例子将在本

文的后两个部分讨论。

3.2.5 下一个是何处?

我们已经了解矿山充填的开发工作如何从一个矿区转移到另一个矿区,从芒特莱尔到布罗肯希尔到芒特艾萨。我们还看到各种充填料已逐步变成要通过一定设计的产品。其部分原因是我们的选矿同事日益将矿石磨得更细以回收更多的矿物。这已使一般水砂充填料的来源及其应用受到限制,于是对高密度充填料包括膏状充填料感兴趣,并进行了开发。

目前,澳大利亚许多采矿企业在使用膏状充填料,还有更多的矿山计划使用,这次讨论会的论文将会提到这些情况。

在最近的开发成果中有一项令人瞩目,这就是全尾矿方案。遗憾的是,我们中间有些人对此作了解释,说所有的尾矿—全尾矿都会充填在井下。假定矿石一般的密度约3.0,破碎和磨细到 $-300\ \mu\text{m}$ (一般情况)后,其松散密度约为原来的 $\frac{1}{2}$,即 $1.5\ \text{t}/\text{m}^3$,结果,至多只有开采量的一半才可能用作充填料。除非矿石品位极高或精矿品位极低,否则这未必可能。建议按这个意义使用全尾矿的那些作者,也许会对这个问题提出意见。

虽然在几乎连续开采100年以后,在芒特莱尔和布罗肯希尔仍有采矿企业,但在矿山充填方面的开发已不是这些矿区的关键问题。芒特艾萨矿业有限公司仍可开采数十年,无疑将会在充填工艺的开发方面继续作出贡献,但是未来的成就将取决于别处的新矿山如坎宁顿矿,尤其将取决于肯定成为大矿的奥林匹克水坝铜矿。访问这些地点的代表将有机会作出其自己的评价。

有些事情本想接着讨论再叙述充填工艺,现在挪到后面讲。

3.3 研究发展和教育

3.3.1 前言

上面提出的所有例子(这些例子只是澳大利亚充填实践历程中的少数实例)主要都

是企业自身的事。根据我所知道的,这些例子的大部分都得到公司以外专家的支持。本节将力图综述这些专家的贡献,评论现状,最后对矿山充填教学进行一些议论。

3.4 研究和开发

3.4.1 联邦科学与工业研究组织

联邦科学与工业研究组织应用地质力学分部曾是广泛从事充填研究工作的重要外界团体之一,甚至可能是第一个在澳大利亚矿物工业研究协会的指导下,应用地质力学分部研究了在新南威尔士州CSA矿山高分层充填法采场中采用水砂充填的各方面问题。首先,一个多学科的科学工作者小组,尤其从地质力学观点在该矿情况下是从土力学观点研究了充填体各方面的性能。(现在说这些似乎是陈腔老调,但却是在这几年以后,才有埃德·托马斯认为矿山充填的许多问题可以用土力学理论论述。在此之前,充填只是一个采矿问题,必须用采矿理论论述。)

继题为“高层高采场的地质力学”的第一项目之后(Aitchison, Kurzeme 和 Willoughby, 1973),澳大利亚矿物工业研究协会更加雄心壮志地开展了一个课题“采场的支护和稳定”。在这项课题中,好几十位联邦科学和工业研究组织的科学工作者和支持人员以及资助公司的人员,研究了对澳大利亚采矿工业有重要意义的许多问题。在此之外,在认识岩层支护、编制应力分析程序和与本会议有关的显著提高对大面积暴露的胶结充填体的稳定性的认识方面,有了一些重大成就(Barrent 和 Cowling, 1981)。

这些项目每个一般持续4年。我想所有参加的人都不会忘记参与带来的兴奋,同样也不会忘记受到的精神打击。研究团体和采矿工业界在知识上都比较差和在经济上都比较穷,因为目前没有这些类型的课题。现在人们只得看着这样的现实,地质力学界有许多掌握这些项目的基础理论的名人,但极其缺少能实现这些项目的价值的采矿地质力学学科的新后继人。理智的经济学家和那些详

细说明核心问题的人以及其它现代管理趋势,也许已促使这些有远见的项目的终止。

目前澳大利亚不存在这样的能力。某些较大的矿山和某些咨询公司都有充填专家,但没有一个中心集中力量于发展充填工艺,仍有许多有待于说明和认识的事物,到这次讨论会结束将是显而易见的。

这使我想起美国的那位优秀的采矿学会会员,他在80年代中访问芒特艾萨矿业有限公司时对三位专职工程师研究矿山充填感到惊奇。他认为,充填方面的一切都已经解决。比尔,我们需要你,你在何处?

澳大利亚矿物工业研究协会、应用地质力学分部的后继单位—勘探和采矿分部、采矿设备和工艺中心以及金属和煤炭地下开采工业部门,都很想重新评价是否需要一个擅长矿山充填工艺的中心。

3.4.2 个人的贡献

虽然目前没有一个专门研究充填的中心,但是这样一次述评应当包括许多个人成果。虽然有不少人参加澳大利亚矿物工业研究协会的课题,继续从事矿山充填领域的工作,但其中托马斯、霍斯利、威廉斯、米克和艾萨克斯作出了重大贡献。

3.4.3 胶结水砂充填

如前所述,托马斯对芒特艾萨矿业有限胶结充填的研究有过帮助。他的其它重大贡献是讲授充填和指导许多矿山充填研究课题和确定水砂充填料标准渗透速度为100 mm/h。

由于在新南威尔士大学开设了矿山充填课程和在全世界讲课,埃德·托马斯是最近25年来矿山充填引导者之一。他指导近50名研究生和大学生。新南威尔士大学采矿工程系的图书馆可为任何一项充填研究提供有价值的资料。

用100 mm/h这个值作为水砂充填渗透速度的标准已有25年多的历史。对这个标准及其有关的充填料中10% 10 μm 物料粒度曲线有过许多辩论,旨在达到所需的渗透

速度。现在已发展到高密度和膏状充填料,对充填料排水的认识也更深入,又来讨论这个标准合适吗?

3.4.4 流变学

霍斯利对管道泵送引起的流变学和网路课题最感兴趣(1982)。他对南非金矿矿泥所做的研究工作特别引人注目,因为那里开发的完善网路模型证实了其结果,见后面参考文献。

3.4.5 合并处理

从这个讨论会第一届会议举行以来主要变化之一,是日益提高了对采煤工业中与充填有关的工作的兴趣,和这方面的报导越来越多。威廉斯(1996)建立了在地面合并处理的概念,将细粒煤渣和松散矸石一起处理,煤矿矸石的处理获得很大经济和环境效益。这种技术可能会在地下采煤和边坡螺旋钻采煤采区的充填中得到进一步应用。

3.4.6 计算机模拟

上面提到的有贡献的最后两个人在开发计算机模型方面作了大量的工作,使用这种模型对胶结充填体暴露面的稳定性和充填料的排水有了深入的了解。

继戴特和库尔特哈德的研究(巴雷特、库尔特哈德和戴特,1978)之后,米克(米克、比尔和考林,1981)编制了第一个一般可用于胶结充填体暴露面稳定性的三维分析的有限元程序。现在似乎显而易见,但是,模拟采场分层充填并考虑到充填料随时间变化的性质,模拟固化,在当时是很复杂的课题。布洛塞(1998)提交本次讨论会的论文,总结了这项研究工作所达到的水平和对充填体稳定性的认识的深入程度。我以后还会讲到这个题目。

最后,采用艾萨克斯及其同事(艾萨克斯和卡特,1983;特拉维斯和艾萨克斯,1991)编制的程序,得以深入了解水砂充填料的充填和脱水时所产生的过程。芒特艾萨矿业有限公司使用这些程序(考林、格赖斯和艾萨克斯,1988)有助于促进高密度充填料的采用、

取消采场内的滤水柱和重新评估隔墙结构。其中细节在下面描述。

还有一些人对澳大利亚矿山充填的研究和实践有贡献,但是这些人员的选定会对澳大利亚国内的一些专门技术添加分量。

以上列举的例子证实,矿山主与研究团体之间有许多合作。但是,这种关系常常紧张。一位同事编制一个广泛的采场周围监测程序,不需要过高的技术,在致管理部门的备忘录中写道,取读数的次数受控于黑盒。一名经理在该备忘录的空白处潦草书写了“与其有关的黑盒是什么颜色?”这节最终评论教育专题。

3.5 教育

在澳大利亚和全世界,矿山充填学科的教学和对较大采矿团体矿山充填的认识都是不稳定的,这是最好的描述。

目前,澳大利亚的主要采矿教育中心都没有矿山充填学科方面的专家。这个问题虽小却很重要,也许是应当怎么办。我们都已看到采矿工程课程在继续扩大,科目越来越多,而很少取消学科。

这或许是管理方面的思想家正确之所在。各大学采矿系的教师通常不到6名,要求一门现代工程课程涉及所有的科目对这些教师是不合理的。遗憾的是,他们过于繁忙,效果是时好时坏。

全体教师也许都应致力于核心学科,认为应由专家讲授专业课程。这可能意味着,同一位专家在几座大学讲一门课,无疑需要对课程进行某些调整,以便能集中讲课。世界上有些系有时做到了这一点,但是确未形成制度,然而值得认真考虑。矿山充填学科是可以按这种方式教学的学科一个最佳例子。

应当对海外访问者的意见尤其是他们的经验作出正确的评价。

3.6 矿山充填 25 年的回顾

3.6.1 前言

除了接连举行的6次讨论会以外,还召

开了许多单独的会议(矿冶学会,1980年;南非矿冶学会,1988年),在杂志以及学会会刊和论文集中发表了许多技术论文。我不打算摘要地叙述所有这些论文,我只打算作评述,看看是否存在什么趋势。

总的印象是感到有差异。虽然充填料种类有限,但几乎每个企业都要针对各自的情况作某些具体改变。在研究的问题的数量和范围上也存在差异,数量太多以致无法在此列举,这里只说出几个问题:电动增稠、外来粘结剂、高级计算机模型和控制系统以及离心模拟。有许多解决的途径正在研究,这证明充填仍是一种发展中工艺。

但是,有一些特殊的趋势,下面我将摘要地介绍其中的例子。

3.6.2 矿山充填的地质力学

在1973年的讨论会上,地质力学专家凭看到的和听到的可能觉得好象错误地出席了这次会议。目前,地质力学评估是矿山设计的一个整体部分。这对于用地质力学方法确定大范围矿山充填特性(包括承载能力、区域支护和暴露面积)的矿山充填,尤其是正确的。

3.6.3 南非金矿

在头两次会议中每次南非都只有一个人参加,斯坦·帕切特在1978年讨论会上,正如在第一次讨论会上的地质力学专家一样,特别引人注目。虽然南非金矿在快进入本世纪时就采用了充填,但并没有普遍推广。帕切特的文章是那时以来第一篇给人深刻印象的论述南非矿山充填工作的优秀论文。埋藏深、面积大的薄矿体的尺寸和采矿方法都阻碍充填用于深部金矿。

毫无疑问,这些障碍大部分都已消除,但是可能仍有某些结构上的障碍不利于充填的采用。前次充填会议以后,约翰·斯图尔特在其总结性论文中十分关切地指出,南非安装的充填能力利用率不到50%。南非的某些代表可能会给我们带来这方面的最新成就。

3.6.4 计算机应用

计算机在我们日常生活中处处都存在,在矿山充填方面也是一样。计算机技术在矿山充填的各个方面,从选择技术、设计、制备、分配到排水,都起了作用。

3.6.5 胶结料

从第一次讨论会以来,以最低费用稳定充填体的方法一直是一个研究课题,在这次讨论会以前无疑也是这种情况。最初,是用硅酸盐水泥稳定充填体,后来用冶炼炉渣和(或)大电厂飞灰部分或全部取代水泥。目前经常使用以硅酸盐为基质的材料以及电灌浆,也一直研究用废玻璃作胶结料。

3.6.6 膏状充填料

最后,不只是从字面的意义上说,最近的趋势是开发和采用高密度浆状充填料,尤其是膏状充填料。

3.6.7 报导经验和失败

上述的各趋势是我们已经做过和做得很好的事情。我们没有做好的事情是记载的失败。你们有些人可能想起了在吕勒欧讨论会上比尔·赫斯特里利德充满热情地恳求矿山提出总结失败的资料,以使学术团体能够开发更好地描述充填料各种性能的模式。

他尤其关心地质力学特性,但上述情况同样适合于矿山充填的各个方面,包括充填站、管网和脱水。我们中任何一个访问过其它矿山的人,有几次发现过论文的内容没有包括达致最后成果的全过程。我重复比尔·赫斯特里利德的要求请更多地报导包括失败在内的整个实况。

3.6.8 信息来源

在转到选定授奖项目之前,我想请你们注意我通过阅读几次讨论会所有论文而准备的一些数字。我注意到,在大多数的论文中,参考文献多半都是本国的。我想,我们都会同意需要一定数量当地的参考文献以免文章过长。但是,假定我们中间有许多人都访问其他国家的其他矿山和多次参加诸如这次讨论会的会议,我认为参考文献来源的范围将

会扩大。

表1列出我的调查结果。我只选择了这次讨论会有两篇以上论文的那些国家。为了使每个国家有相同篇数的论文和每篇文章有相同条数的参考文献,已将参考文献的条数规一化。

表1 有两篇以上论文的国家
的论文和参考文献的来源

论文来源	参考文献来源				
	澳大利亚	加拿大	中国	南非	美国
澳大利亚	100	25	4	6	29
加拿大	0	120	6	6	42
中国	0	46	104	0	23
南非	0	2	0	160	11
美国	0	43	0	6	118

可以作许多说明:

(1) 所有国家使用的当地参考文献所占比例都惊人地接近(60%~70%之间)。

(2) 只有澳大利亚引用了所有其它4个国家的著作。

(3) 就被其它国家引用的文献数量来讲,澳大利亚最少。(根据我后面的解释我感到这是出乎预料之外的)。

唯一的结论也许是:这些数字证明应该轮到澳大利亚作讨论会的东道主! 第二点也许证明我的加拿大同事的某些论点,当在加拿大再次见到我时,他们说,“怎么,你又在这里? 上次你没有弄清楚吗?”

3.7 重大贡献和奖励

3.7.1 前言

在最近25年间,在开发和使用充填工艺方面,当然有许多重大贡献。我唯一的准则是选择少数项目,我将在下面讨论这些使我特别感兴趣和有希望引起争论的项目。下面各节提出的人都是名义奖获得者。

数年前,在一次地质力学数值计算法

的会议上,我也曾是这样一位名义奖获得者。我提起这件事并不是自吹自擂,而是承认通常有许多同事参与这项工作,虽然我不能只提出一两个人的名字,但我认为,这对我今天宣布的大部分贡献将是一样的。

下面分为选择、制备、管网、排水和隔墙以及暴露稳定性等方面予以叙述。

3.7.2 充填料种类的选择

在许多矿山充填料种类的选择是相当简单的,而在其它矿山可能是很复杂的,甚至变成辩论十分激烈的主题。这个问题往往在于个别人有使用某种充填料的经验,选择有点象似“调味”。由于后者的缘故,胶结块石充填料和膏状充填料的使用一直遇到困难。

所需要的东西是导致工程师通过一系列步骤正确确定和逐步取消比较方案的方法。我知道有些同事例如托尼·格赖斯和萨姆·斯皮林对此考虑了许多,但是到目前为止,我认为两个都未达到出版有关该主题的著作的阶段。

我能确定的唯一方法,是由 Scoble 和 Picciachia(1986)提出的方法。我特别喜欢的是,在他们的模型中接近结束时对费用进行分析。首先使设计正确,然后调用子程序,以控制和降低费用。但是该模型缺少选择和设计过程的一个极重要的部分,那就是编制计划进度表。

编制计划进度表是矿山设计过程中尤其是在矿石回采与采场充填的相互协调中最未充分利用的手段。甚至用一种采矿法和一种充填料的较简单矿山企业,认真地编制计划进度表也会改善操作。当采用几种采矿法和数种充填料时,认真地编制计划进度表则是必不可少的。有些矿山用手工在大幅纸上编制计划进度表。由特劳特(1995)制订的方法是唯一的严密方法。我意识到这个方法能为采用许多种采矿方法和充填工艺的矿山优化计划进度表的编制。

3.7.3 制备

充填料制备实际上在于质量管理,毫无

疑问,由于膏状充填料的采用理解到更需要强调这个方面。很长时间以来,已把充填料制备站看作发展道路上的一潭死水,和(或)看作选矿厂与矿山之间的无人管理区。采用胶结充填的矿山的充填费用通常至少占总采矿成本的 20%(有时高到 40%),可以预料会有更多的工程师把它看作一种好而快地向前发展的态势,有可能对矿山企业各个部分产生影响。

在这次讨论会上有许多论文描述膏状充填料制备厂的设计、施工、控制和管理。但是,我认为,最积极争取使用膏状充填料的鼓动者布雷克布希(1994)和兰德里奥里特(兰德里奥里特和戈尔德,1987)值得表彰。表彰他们同等程度地强调质量管理和膏状充填料。

3.7.4 管网

在这节我的说明只限制于输送管网。

大多数地下充填料输送管道系统都比较杂乱无章;管道系统刚建成,几乎又不能再连续使用。管道系统的布置往往是只充填第一个采场,或充其量也不过第一批采场。从那里再增加和缩减管道长度,打另外的充填钻孔,一般几乎不考虑总个系统、工程和费用。

膏状充填料的问世,因其运输几何条件受到限制,再一次使人们更多地考虑管道系统的设计。

但是,据我看来,南非在矿山充填管道系统的认识和设计方面有真正的进展。

如前所述,黄金矿山埋藏深、面积大的薄矿体和采矿法都要求采用充填料。许多公司单独或通过那时的矿山研究组织公会和目前的科学和工业研究委员会从事这项开发工作。本次讨论会就有介绍后者工作的论文(Ilgner 和 Kramer, 1998)。Paterson, Cooke 和 Gerike(1998)进行了其它重要的工作,并作了报导。

3.7.5 排水和隔墙

膏状充填料可以理想地解决这两个采用充填法的地下矿山所担心的问题。但是,这

两个问题采用任何一种充填料而要有控制地从充填体排出过量水的矿山的主要问题。这两个问题是紧密相关的,但我分开讨论。

3.7.6 排水

阅读本次讨论会的论文时,发现仍有矿山使用固体含量低达 60% (重量) 的充填料,这使我感到吃惊。就一般胶结充填料而言,这意味着每充填 1 t 固体颗粒必须排出约 0.2 t 的水。如果用固体含量 73% 的同一种充填料,则没有水排出。

但是,问题在于,假定有水要排出,怎样做最好。在用水砂充填料、胶结水砂充填料和胶结骨料充填料充填的采场内进行了一系列的调查研究(Grice, 1989)。这些采场一般为 160 m 高,平面尺寸 20×20 m,每隔 40 m 布置凿岩水平连续测量所有进入的物料量和所有排出的水量。5 个水平一般各有 2 个进路,因而有两座隔墙。隔墙用特制透水砖砌筑。

在每对相邻水平之间,一个采场有顺路滤水柱。

调查研究的结果是,全部水的约 80% 通过底部隔墙排出,只有约 5% 的水经滤水柱排出。

结论是简明的。如果有自由水,则大部分通过采场底部隔墙排出。不论是砌筑和监测这些隔墙,还是处理来自隔墙的水,各系统必须布置在应有的地点。

这项工作大多是用由艾萨克斯及其同事编制的计算机程序接着进行后分析。用这些程序可更加深入地了解水砂充填法采场的孔隙压力、排水路径和排出速率。

3.7.7 隔墙

格赖斯(1998)主张应将 bulkheads(隔墙)重新命名为 barricades(隔墙),因为前者意思是不透水的墙,而后者并非是不透水的墙。代表们可能想对此提出意见。

阅读了一些描述许多矿山采用不透水隔墙的论文,这也使我吃惊。人们只须看为诺兰达技术中心拍制的不透水隔墙向摄像机飞

来的电视,就可了解不透水隔墙可能多么危险。

隔墙对许多采矿人员显然是一个很重要的问题。大约在 1986 年,曾在安大略省,调查了矿山主最关心矿山充填的哪个方面。大多数的回答是:隔墙破坏居第一,或接近第一。

在他调查排水的那些采场中,格赖斯(1989)也研究了作用于隔墙的压力。他确定,如果隔墙排水畅通无阻,则总压力低(约 100 kPa)。对在独头巷道中砌筑的隔墙作了一连串平行试验,隔墙可以经受得住约 800 kPa 的荷载,然后才破坏。还有几个采场的隔墙破坏。

偶然在一个已充填的采场的上部表面发现了管流结构而解决了该问题。尾砂通过隔墙或相邻岩石漏出,可以导致管流形成,因而可能导致隔墙破坏。

如考林等人(1989)报导,比尔的研究成果和采用适合的计算机代码再一次证实了隔墙承受的荷载及其变形和破坏方式。

3.7.8 暴露面稳定性

一些作者测量已充填采场的应力时发现它低于上覆充填体的深度应力;我对他们这种难以置信的记录再一次感到吃惊。充填工程师继续使用如下的公式确定稳定充填体暴露面所需的充填料性能一事也使我感到吃惊,也许甚至失望。

$$UCS(\text{极限抗压强度}) = \gamma H / (1 + H/L) * F$$

大约在 20 年以前,巴勒特、库尔特哈德和戴特(1978)报导了预测矿山胶结充填料应力水平和预测稳定暴露面尺寸的方法。怎么能按一般情况用上述公式确定有多个暴露面的充填体的强度?

在巴勒特报导的工作的基础上,米克和布洛斯(Bloss、Cowling 和 Meek, 1993)改进了该方法。布洛斯向这次讨论会提交的论文(Bloss, 1998),凡是对充填体暴露面稳定性

感兴趣的都必须阅读。

请考虑这种情况。基于上面引用的方法,暴露面可高达 200 m,宽 40 m,采场四周随后暴露和重新支护。水泥含量一般约占总重量的 1%。

基于改变的公式得出的暴露面,通常为 30×30 m,高 90 m 是极例外的情况,一般只能有 2 个暴露面。水泥含量介于总重量的 4%~6% 之间。

在 1978 年的讨论会上,听过巴勒特的发言后,约翰·弗兰金断然地说,夜晚让袋鼠在采场内自由自在践踏充填体。

4 预测

首先是容易的预测。

4.1 大家分享美好的时光

各个作者编写了一批极好的论文,组织委员会已制订一个计划,保证我们都能听每一次发言。也有很多的讨论机会。

4.2 你们会再次见到我

主席又给我分派了任务,安排我在最后一次会议结束时作本次讨论会的总结发言。目前变得更为困难。

4.3 让我们实现已经了解的事情

这与其说是预测不如说是要求多的。正如我在前面指出的,有许多已经了解和有文献证明的技术没有使用。通过论文的宣读和讨论这会变得更加显而易见。只要转为实现最好的技术、改进的标准和方法,就会看到许多企业的重大改进。

4.4 我们将继续倾听我们选矿同行的意见

矿石将继续磨得更细。需要改造选厂以回收足够的尾砂用作符合设计要求的充填材料。可能应对团聚作用作进一步研究。

4.5 井下将要做更多的事

有一篇南非的论文强调提出,应确保所有掘进废石都留在地下,这可能很快成为一个方针。关于地下选矿问题已进行过多次讨论,在今后数年可能变成现实。用地下法开采建筑和筑路石料可能成为标准,而采空区

用于处置公众废料。

4.6 中国

我上面提到澳大利亚的充填开发工作如何从一个矿区转移到另一个矿区。就各个国家而论无疑同样真实。在这个问题上,我不解释按迄今的开发成果排列的国家顺序,以避免争论。而我指出,未来中国将是许多开发矿山充填技术的成果的来源。

4.7 胶结料

由于尾矿仍然会磨得更细,就继续需要将它们胶结起来,必须进一步研究胶结料。对于非硅酸盐水泥的胶结料已进行了大量的研究工作。未来的工作包括进一步研究这些胶结剂,并同时研究絮凝作用、团聚作用、表面化学和电灌浆。颗粒表面和浆状充填料的水相的研究将越来越重要。不同的尾矿可能要用不同的胶结料。我认为我们仍不是随时可以使用毫微技术,但是它可能提出一些令人感兴趣的机会。

5 结尾说明

首先,在这次发言中我没有讨论三个重要问题—环境和安全问题,澳大利亚充填实践和研究现状,现在作点说明。

选厂尾矿作为充填料处理是一个环境问题,但我试图将评论限制在矿山充填的工程方面。保护我们的环境是一个太重要的问题,而我只在这篇发言的不同部分偶尔提到,显得无关紧要。

安全也是一样。周密考虑过的设计、流程或做法应是安全可靠的。我常常认为,安全与工程和管理分离会减轻其重要性,而不是加强它。

至于澳大利亚目前的工作,有关其中许多工作的论文将由作者在这次讨论会宣读,我作简短的摘要没有好处。

我回顾了矿山充填的发展历程,希望以此证明矿山充填是发展中工艺,而且是一种不同的工艺。

但是,有许多未被普遍知道、了解或应用

的工艺。只要这些工艺大量用于许多矿山,安全程度和经济效益就会大大提高。

同时,非常需要继续开展研究和开发工作,在矿石继续磨细和决策时要更加注意环境问题的情况下尤其需要。

改进修矿山充填课程的大学生的教学工作,和从事矿山充填工作的工程师的继续教育,将会大大有助于满足上述两个要求。

参 考 文 献

- Aitchison, G D, Kurzeeme, M and Willoughby, D R, 1973. Geomechanics considerations in optimising the use of mine fill Parts A and B, in *Proceedings Jubilee Symposium on Mine Filling*, pp 25-48 (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy :Melbourne).
- Barkley, E, 1927. Stope filling at Noth Mount Lyell Mine, *The AusIMM Proceedings*, 66:157 - 164.
- Barrett, J R, Coulthard, M A and Dight, P M, 1978. Determination of fill stability, in *Proceedings 12th Canadian Rock Mechanics Symposium*, pp 85 - 91 (The Canadian Institute of Mining and Metallurgy: Montreal).
- Barrett, J R and Cowling, R, 1980. Investigations of cemented fill stability in 1100 orebody, Mount Isa Mines Ltd, Queensland, Australia, *The IMM Trans Sect A Min Industry*, 89: A 118 - A128.
- Black, A B, 1944. The application of hydraulic stowing partially deslimed mill residue in stopes at Broken Hill South Limited. *The AusIMM Proceedings*, 135.
- Blainey, G, 1978. *The rush that never ended: A history of Australian Mining*, Third edition (Melbourne University Press).
- Bloss, M L, Cowling, R and Meek, J L, 1993. A procedure for the design of stable cemented fill exposures, in *Proceedings MINEFILL 93*, pp 3 - 8 (The South African Institute of Mining and Metallurgy: Johannesburg).
- Bloss, M L, 1998. Cemented rockfill research at Mount Isa Mines Limited 1992 - 1997. in *Proceedings MINEFILL 98* (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Brackebusch, F W, 1994. Basics of paste backfill systems. *Mining Engineering*. October 1994: 1175 - 1178.
- Cowling, R, Grice, A G and Isaacs, L T, 1988. Simulation of hydraulic filling of large underground mining excavations, in *Proceedings of the Sixth International Conference on Numerical Methods in Geomechanics*, pp 1869 - 1876 (A A Balkema Rotterdam).
- Cowling, R, Voboril, A, Isaacs, L T, Meek, J L and Beer, G, 1989. Computer models for improved fill performance, in *Proceedings of the 4th International Symposium on Mining with Backfill* (Eds: F P Hassani, M J Scoble and T R Yu) pp 165 - 170 (A A Balkema Rotterdam).
- Fangel, H, 1983. Backfilling with ice, in *Proceedings of the International Symposium on Mining with Backfill*, pp 455 - 460 (A A Balkema Rotterdam).
- Grice, A G, 1989. Fill research at Mount Isa Mines, in *Proceedings of the 4th International Symposium on Mining with Backfill*. (Eds: F P Hassani, M J Scoble and T R Yu) pp 15 - 22 (A A Balkema Rotterdam).
- Grice, A G, 1998. Stability of hydraulic backfill barricades, in *Proceedings MINEFILL 98* (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Horsley, R, 1982. Viscometer and pipe loop tests on gold slime slurry at very high concentrations by weight, with and without additives. in *Proceeding Hydrotransport 8 8th International Conference on the Hydraulic Transport of Solids in Pipes*, pp 367 - 382 (BHRA Fluid Engineering: Cranfield).
- Ilgner, H J and Kramers, C P, 1998. Developments in backfill technology in South Africa, in *Proceedings MINEFILL 98* (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- IMM, Conference on Application of Rock Mechanics to cut - and - fill mining, London, 1980.
- Isaacs, L T and Carter, J P, 1983. Theoretical study of pore water pressures developed in hydraulic fill in mine stopes, *The IMM Trans Sect A Min Industry*, 92: A93 - A101.
- Jones, T O, 1970. Pillar recovery in a section of the 650 Orebody floor pillar using cemented fill, in *Proceedings Regional Conference Tennant Creek* (The Australasian Institute of Mining and Metallurgy: Melbourne).
- Landriault, D and Goard, B, 1987. Research into high - density backfill placement methods by the Ontario Division of INCO Limited. *CIM Bulletin*, 80(897):46 - 50.
- Meek, J L, Beer, G and Cowling, R, 1981. Prediction of stress levels in cemented fill, in *Proceedings of Implementation of computer procedures and stress strain laws in geotechnical engineering* (Eds: Desai and Saxena) pp 447 - 460.
- Murray, R M, 1915. Mining methods at Mount Lyell, *The AusIME Proceedings*, 19: 125 - 139.
- Patchett, S J, 1978. Fill support systems for deep - level gold mines - Prototype installations and economic analysis, in *Proceedings 12th Canadian Rock Mechanics Symposium*. pp