

GANSI JIAOJIE
TIAODAI CHONGTIAN KAICAI DE
LILUN YU YINGYONG YANJIU

矸石胶结 条带充填开采的 理论与应用研究

郭忠平 黄万朋 王效勇 秦立伦 著



煤炭工业出版社

矽石胶结条带充填开采的 理论与应用研究

郭忠平 黄万朋 王效勇 秦立伦 著

煤炭工业出版社

·北京·

图书在版编目 (CIP) 数据

矸石胶结条带充填开采的理论与应用研究 / 郭忠平等
著. -- 北京:煤炭工业出版社, 2013
ISBN 978-7-5020-4256-1

I. ①矸… II. ①郭… III. ①煤矸石—胶结充填法—
条带开采—采煤方法—研究 IV. ①TD823.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 137920 号

煤炭工业出版社 出版
(北京市朝阳区芍药居 35 号 100029)

网址: www.cciph.com.cn

北京房山宏伟印刷厂 印刷
新华书店北京发行所 发行

*

开本 850mm × 1168mm^{1/32} 印张 4^{5/8}

字数 112 千字 印数 1—2 000

2013 年 8 月第 1 版 2013 年 8 月第 1 次印刷

社内编号 7084 定价 19.00 元

版权所有 违者必究

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,本社负责调换

内 容 提 要

本书介绍了作者多年来在煤矿井下矸石胶结充填方面的一些研究成果。对充填体材料组成、配比选择以及力学性能等进行了试验研究,确定了合理的井下充填体结构。研究了条带充填体与顶板覆岩的力学作用机理,提出了“充填体、直接顶集合体-基本顶岩梁-上覆岩层”的力学结构模型,对条带充填体的参数、充填体与上覆岩板的稳定性进行了理论与数值模拟研究。结合华恒矿业有限公司汶南煤矿的煤层地质条件,对充填工作面的巷道布置、设备参数及工艺流程、充填工序进行了优化设计,确定采用“见七充四”的泵送矸石充填方式,能够达到较好的充填效果。该充填工艺技术简单,机械化程度高,经济和社会效益十分显著。

本书可供煤矿、科研院所的有关人员和矿业院校师生阅读、参考。

前 言

我国煤炭资源丰富，煤炭的开采对工业以及国民经济的发展发挥着重要的作用。然而当前在煤炭开采过程中面临着两个主要问题，首先是大量优质煤炭资源的呆滞，“三下”压煤问题严重，影响了煤炭资源的开发，尤其对于我国中东部地区来说，随着优质煤炭资源的逐渐枯竭，“三下”压煤的开采成为矿区面临的一个主要问题；其次是煤炭的开采活动对自然环境造成的破坏，以煤矿产生的固体废弃物——煤矸石为例，据不完全统计，目前全国历年累计堆放的煤矸石约为 4.5×10^9 t，占用土地约 1.5×10^7 m²。煤矸石在地表的大量排放堆积给自然环境带来很大的危害，严重阻碍了资源开采与环境保护的协调发展。因此，在我国当前能源战略需求下，采取有效措施合理解决“三下”压煤与矸石污染的问题成为矿山企业面临的主要任务。

在煤矿绿色开采体系中，矸石的井下充填技术是解决上述问题的首选。针对我国当前矸石充填技术中存在的充填成本较高、充填体稳定性较差、充填系统与生产系统相互影响等具体问题，本书结合华恒矿业有限公司汶南煤矿的实际地质条件，提出了井下长壁工作面矸石胶结条带充填开采的研究课题，并对相关理论与技术问题进行了逐一研究。

通过矸石胶结充填体配比及其力学性能实验研究得到：矸石胶结充填料的主要组分为矸石料、水泥、粉煤灰、砂子和水等，选定了最适合于采空区充填的材料配比为水泥：粉煤灰：砂子：矸石骨料：水 = 3.7 : 1 : 3.8 : 29.6 : 9.5，早强剂用量为整体质量的 1.2%。该配比充填体 4 d 强度能达到 6.9 MPa，14 d 强度能达到 11.8 MPa，平均弹性模量在 14 d 龄期为 1900.9 MPa，可缩

性较强,能够满足现场工程需要。矸石胶结充填体在三轴压缩全应力应变曲线中,在极限强度之后出现屈服平台,表现出明显的塑性流动,且残余强度较高,基本等同于三轴极限强度。

通过对矸石胶结充填体及上覆岩板的稳定性分析得到:采用条带充填时,只要保证未充填区域的宽度小于上覆基本顶岩梁的初次破坏极限跨度,上覆基本顶岩梁结构就能保持稳定不断裂,从而可以有效控制采场矿压显现及地表沉陷。充填体塑性区比例系数 K_b 与充填体宽度 a 的关系是呈下凹型的幂指数关系。研究了条带充填体与顶板岩层的力学作用机理,提出了“充填体、直接顶集合体-基本顶岩梁-上覆岩层”的力学结构模型,根据选择的条带充填方案(充填 60 m,留 25 m),充填体自身的强度安全系数能达到 1.3,通过板壳理论计算的基本顶岩板的最大下沉位移为 8.73 cm,能够保持较好的稳定性。

结合华恒矿业有限公司汶南煤矿的实际开采条件,对泵送矸石充填系统进行了研究与应用,设计了下山式矸石充填集中布置系统,并依据充填材料的选择及配比要求,确定了泵送矸石充填工艺流程,发明了一种防止泵送矸石充填系统堵管的方法。该充填系统与工艺较为简单,机械化程度高,能够取得良好的经济效益和社会效益。

在编写过程中,我们参考了国内外一些煤矿企业成功的生产经验、技术资料及大专院校和科研院所的文献,在此表示诚挚的谢意。同时,还得到了许多专家、教授和有关同志的大力帮助和支持,在此一并表示衷心的感谢!由于本书编著时间紧迫和编者水平有限,不妥之处,祈望读者不吝赐教!

著 者

2013 年 5 月

目 次

1	绪论	1
1.1	问题的提出及研究的必要性	1
1.2	充填开采的研究现状	3
1.3	研究内容与技术路线	14
2	矽石胶结条带充填开采的基本理论	17
2.1	充填体与覆岩的作用机理	17
2.2	条带充填体的变形特征及破坏机理	23
2.3	影响条带充填体稳定性的因素分析	26
2.4	本章小结	27
3	矽石胶结充填体及其力学性能试验研究	29
3.1	充填材料及其物理化学性质	29
3.2	充填材料的配合比	33
3.3	添加剂对充填体材料配比效果的影响	38
3.4	矽石胶结充填体材料配比试验研究	40
3.5	矽石胶结充填体力学性能试验研究	47
3.6	本章小结	57
4	条带充填体及基本顶岩板稳定性分析	59
4.1	未充填区域宽度的确定	59
4.2	条带充填体宽度的数值模拟研究	64
4.3	条带充填体及上覆岩层的稳定性分析	88
4.4	本章小结	99
5	泵送矽石充填系统研究与应用	102
5.1	试验区概况	102
5.2	工程地质条件	102

5.3	泵送矸石充填系统设计	105
5.4	泵送矸石充填安全技术措施	115
5.5	现场实测与分析	121
5.6	试验应用效果	126
5.7	本章小结	127
6	主要结论、建议与展望	129
6.1	主要结论	129
6.2	建议	131
6.3	展望	131
	参考文献	133

1 绪 论

1.1 问题的提出及研究的必要性

我国有丰富的煤炭资源,煤炭储量居世界前列,大小煤田遍布于全国各地。2005 年全国煤炭产量为 2.21×10^9 t, 2012 年煤炭产量已达到 3.65×10^9 t。虽然煤炭储量和产量都比较大,但同时也要看到,我国各矿区都不同程度地存在建筑物下压煤问题。如抚顺矿区在工业建筑物和市区下压煤量达 2×10^8 t, 峰峰矿区在井田范围内有村庄 70 余个,压煤量也很大。据不完全统计,我国国有重点煤矿“三下”压煤的可采储量为 1.379×10^{10} t, 其中建筑物下压煤可采储量达到 9.468×10^9 t, 铁路下 2.391×10^9 t, 水体下 1.905×10^9 t。在某些矿区,“三下”压煤的储量约占矿区可采储量的 60%。大量的煤炭资源呆滞,不仅影响了煤炭企业对资源的开发利用,而且增加了开采难度,缩短了矿井服务年限,严重制约了矿区的可持续发展。

因此,合理地解决“三下”采煤问题,对缓解能源紧张,提高矿井的服务年限以及发展地方经济都具有重大意义。

同时,我国煤矿在生产过程中,还从井下产生大量的矸石堆放于地表。煤矸石是煤炭生产和加工过程中伴生的固体废弃物,是我国工业固体废料中生产量、累计积存量和占地面积最大的。井下矸石传统的处理方式是由井下提升至地表堆放,形成煤矿特有的地表特征“建筑物”——矸石山。据不完全统计,目前全国历年累计堆放的煤矸石约 4.5×10^9 t, 规模较大的矸石山有 1600 多座,占用土地约 1.5×10^7 m², 而且堆积量还以每年 $(1.5 \sim 2.0) \times 10^8$ t 的速度增加。煤矸石的大量排放给人类生存

条件和环境带来很大的危害，主要表现在：侵占土地，污染环境，危害人类安全。此外，正在自燃的矽石山，如遇到雨水的渗入，受热后空气急剧膨胀，会引起爆炸，造成安全事故。对于矽石企业而言，要走资源开发与环境保护相协调的矿业发展之路，必须在合理开发资源的前提下，对矿山开采产生的各种废弃物，尤其是堆放于地表的矽石，进行有效的处理与利用。

针对上述问题，从实现资源与环境协调发展的目的出发，寻求合理开发利用矿产资源、保护地表建筑和环境的技术途径成为必然。采空区是井下的最大空间，采用矽石充填技术，在采空区直接处理掉井下产生的矽石，是目前最合理的解决方法之一。矽石回填采空区，不仅能够实现矽石不上井，不占地，降低运输费用，避免环境污染；而且通过在井下的合理处理，充填的矽石也可作为地下结构支撑体支撑上覆岩层，减小矿山压力，减少地表下沉量，起到保护地表建筑的目的，同时可以大幅度解放呆滞的煤炭储量，具有显著的经济效益和社会效益。

然而目前矽石充填开采还存在着成本较高、工艺复杂、适应性差等缺点，限制了其在矿山企业的大范围应用。而且用矽石充填体支撑上覆岩层，它与围岩的共同作用机理、充填体的破坏特征及其合理的充填参数，到现在还没有一套科学完整的理论来研究和确定。

著者在进行广泛调研的基础上，提出了“井下矽石胶结条带充填开采的理论与应用研究”的课题。采空区矽石胶结条带充填开采方法是一种全新的开采方法，很多方面都还处于试验阶段，很多关键性的技术还需要进一步的研究和完善。本研究课题是在强调资源与环境协调发展的大环境下，为了更加深入细致地研究采空区条带充填开采方法的一些核心问题而提出的。拟通过该课题的研究和实践，实现建筑物下压煤的高效开采、缓解矿井的辅助提升压力，同时可以将井下产生的矽石直接进行处理，消除矽石的地面堆积对人类生存与生活环境带来的危害，实现矿区

资源与环境协调发展,构建人与自然和谐的矿山绿色开发模式。

1.2 充填开采的研究现状

充填开采就是利用充填材料将采空区充满,用以支撑上覆岩层、减少岩层垮落和变形的一种采煤方法。从理论上来说,充填开采是解决煤矿开采环境问题的理想途径。充填开采技术在金属矿山应用较多,技术相对成熟,我国金属矿山用充填法开采的比例已经超过 50%。世界上首次在煤矿使用采空区充填技术是 1864 年在美国宾夕法尼亚州的一个煤矿区进行的,当时是为了保护一座教堂的基础。矿山充填虽然已达数百年的历史,但在充填研究方面取得较大的进展,国外是最近 60 年,而我国则是最近 40 年。

1.2.1 充填技术发展历程

矿山充填技术的发展经历了以下四个阶段。

第一阶段。国外在 20 世纪 40 年代以前,以处理废弃物为目的,在完全不了解充填物料性质和使用效果的情况下,将矿山废料送入井下采空区,如澳大利亚北莱尔矿;国内在 20 世纪 50 年代以前,也均是采用以处理废弃物为目的的废石干式充填工艺。

第二阶段。20 世纪 40—50 年代,澳大利亚和加拿大等国的一些矿山开发并应用了水砂充填技术,从此真正将矿山充填纳入了采矿计划,成为采矿系统的一个组成部分,并且对充填料及充填工艺展开了研究;国内矿山从 20 世纪 60 年代才开始采用水砂充填工艺,1965 年在锡矿山南矿为了控制大面积地压活动,首次采用了尾矿水力充填工艺,有效地减缓了地表下沉。

第三阶段。20 世纪 60—70 年代,开始应用和研发尾矿胶结充填技术。随着胶结充填技术的发展,在这一阶段已开始深入研究充填料的特性、充填体与围岩的相互作用机理、充填体的稳定性等;国内初期的胶结充填均为传统的混凝土充填,即完全按照建筑混凝土的要求和工艺制备输送胶结充填料。

第四阶段。20 世纪 80—90 年代,随着采矿工业的发展,原充填工艺已不能满足回采的要求和进一步降低采矿成本及环境保护的需要,因而发展了高浓度充填技术、膏体充填、块石砂浆胶结充填和全尾矿胶结充填等新技术。

1.2.2 充填方法的种类

按充填料浆的浓度大小,充填开采方法可分为低浓度充填、高浓度充填和膏体充填。

按充填料浆是否胶结,可分为胶结充填、非胶结充填。现在的生产实践中应用最多的是胶结充填。胶结充填始于 20 世纪 50 年代的加拿大,经过几十年的发展,高浓度的胶结充填技术现在已经被成功应用于生产实践。胶结充填材料包括充填骨料、胶结剂和水。胶结剂应满足以下两个条件:①形成的胶结充填体应达到控制岩层移动和地表变形所需的强度;②胶结剂和对应的充填材料成本低廉。现在得以应用的新型材料主要有全砂土固结材料、高水速凝材料等,能将其几倍于自身体积的水凝结成固体,具有速凝早强的特性,在煤矿的巷旁充填、沿空留巷中得到广泛的应用。

按充填位置,可分为采空区充填、冒落区充填和离层区充填。采空区充填,即在煤层采出后顶板未冒落前的采空区域进行充填;冒落区充填,即在煤层采出后顶板已冒落的破碎矸石中进行注浆充填;离层区充填,即在煤层采出后覆岩离层区域进行注浆充填。一般情况下,采空区充填宜采用高浓度充填或膏体胶结充填,离层区充填和冒落区充填宜采用低浓度充填。

按充填量和充填范围占采出空间的比例,可分为全部充填与部分充填。全部充填即在煤层采出后顶板未冒落前,对所有采空区域进行充填,充填量和充填范围与采出煤量大体一致,它完全靠采空区充填体支撑上覆岩层控制开采沉陷。部分充填是相对全部充填而言的,其充填量和充填范围仅是采出煤量的一部分,它仅对采空区的局部或离层区与冒落区进行充填,靠覆岩关键层结

构、充填体及部分煤柱共同支撑覆岩来控制开采沉陷。全部充填的位置只能是采空区，而部分充填的位置可以是采空区、离层区或冒落区。

矸石胶结条带充填就是以废弃矸石为充填集料，以水泥浆或砂浆作为胶结介质的一种在采场不脱水的高质量部分充填技术。在全部开采的采空区内，间隔充填，充一条，留一条，以达到节约充填成本、控制采场矿山压力的目的。

1.2.3 国内外应用概况

1. 国外应用概况

充填采矿法在国外较早就引起了人们的重视，目前充填采矿法在德国和波兰应用较多。德国于 1902 年应用水砂充填开采城市中心下的煤柱获得成功，但成本较高。波兰的西里西亚矿区自 1920 年开始开采建筑物下的煤柱，采用采空区充填法采出的煤量占全国“三下”总采煤量的 80% 左右。其主要采用水力和风力充填方式，利用河砂、煤矸石和电厂粉煤灰等充填材料进行采空区充填，充填后地表下沉系数为 0.1 ~ 0.2。在特别重要的建筑物下开采时采用条带充填法，地表下沉系数为 0.002 ~ 0.03。波兰采用离层注浆法控制地表下沉，与全部垮落法相比，可减少地表下沉的 20% ~ 30%。前苏联从 1938 年开始研究损害控制，曾用矸石充填采空区，可将下沉系数控制在 0.5 以下。膏体充填技术是 20 世纪 70 年代末在德国金属矿山发展起来的，20 世纪 90 年代初应用在煤矿进行采空区的充填，但由于德国矿井相继关闭等原因，该项技术并没有得到深入研究和应用。由于该项技术具有较大的技术优势和良好的效果，故在加拿大、美国、澳大利亚、南非等国家的金属矿山得到了推广应用，现已成为 21 世纪金属矿山充填技术的重要发展方向。应用于煤矿采空区的充填技术仍是当今世界各采煤国家研究的重点。

2. 国内应用概况

1) 河北邢东煤矿

邢东矿井一水平首采区的2号煤层仅有约 2.0×10^6 t的可采储量,服务年限很短,面临的问题主要有:矿井需要接替的下水平岩巷开掘工程量大,相应矸石的产出量大,而邢东矿井位于邢台市三环以内,市环保部门不允许在地面出现矸石山;同时,矿区地面均为沃野良田,如出现矸石山,对良田的破坏很大;由于井田所在地面上村庄多、搬迁费用高、搬迁难度大等原因,造成井下的村庄保护煤柱和其他呆滞煤量很大。为解决上述问题,邢东矿采用了煤矿井下矸石处理的置换开采技术,主要的技术措施是:设计充填巷宽度为5.0 m,留设煤柱宽度为5.0 m,采用自行研制的矸石充填机进行矸石充填,以此实现邢东煤矿全部矸石的井下充填处理,在把地表变形控制在国家规定的Ⅰ级保护范围之内的前提下,采出了工业广场与建筑物下压煤的50%。

2) 淄博矿业集团许厂煤矿

许厂煤矿井田范围内地面村庄和各种工厂等建(构)筑物密集,“三下”压煤问题十分突出。截止到1998年,全矿井地质总储量312.22 Mt,能利用工业储量135.13 Mt,可采储量82.63 Mt;而在“三下”压煤量中,地质储量约35.24 Mt,可采储量约27.25 Mt,占全矿可采储量的33%。特别是首采的130采区,其南翼地面建筑物和水下压煤面积占到了总储量的68.7%。许厂煤矿针对“三下”压煤问题,在条采(采45 m,留50 m)煤柱区域实施了矸石置换开采技术。采用在原煤柱中央集中布置充填巷的方法,在每个条采煤柱中先期布置2条矸石充填巷,充填巷尺寸为:宽 $\times$ 高=4.0 m $\times$ 5.0 m,巷间煤柱为4.0 m,将井下 1.25×10^5 t/a的矸石量全部充填于条采煤柱所掘充填巷中,置换煤炭 1.35×10^5 t/a。

3) 枣庄矿业集团

枣庄矿业集团也进行了矸石井下充填试验,将矸石破碎后与粉煤灰以1:1混合,加水后在地面通过钻孔充填入采空区,以达到矸石处理与控制地表下沉的目的。但其工程量相对较大,且

在充填工作面难以控制其混合充填高度，目前仅处于试验阶段。

4) 新汶矿业集团

翟镇煤矿率先研究了综采面矸石充填工艺，并研究了矸石充填体的物理力学特性、矸石充填后工作面矿压显现规律以及地表的变形特征，实现了建筑物下压煤的最大限度开采与矸石的合理利用。协庄煤矿、孙村煤矿、泉沟煤矿等也相继进行了高档普采工作面矸石充填工艺的试验研究，取得了以矸换煤的良好效果。

1.2.4 充填体力学作用机理研究现状

充填理论的研究对充填采矿法的发展和矿山实际生产有十分重要的意义。充填体力学作用机理是指充填体在地下采场中自身及其与围岩的力学作用机制，它包括充填体自身的受力特点、变形特征、破坏机理、充填体对采场围岩的作用及相互关系、充填体对上覆岩层的作用及其相互关系等诸多方面。长期以来，充填体的力学作用机理一直是国内外许多学者和工程技术人员研究的一个重要课题。

1. 充填体的力学特性

长沙矿山研究院结合矿山实际充填状况，开展了胶结充填体试件的现场三轴压缩试验与研究。实验表明，充填体试件受力后的变形破坏遵循压密阶段、弹性变形阶段、屈服阶段、塑性变形阶段和塑性破坏 5 个阶段。其变形破坏特征为：当充填体达到屈服点之前，具有弹性支撑作用，过屈服点之后则具有“让压支座”的作用；随着围压的提高，充填体的强度也逐渐增加，在试验的低围压条件下，其强度较单轴条件提高近一倍，可见充填体的三维应力状态很重要。

国外的研究中，G. E. Blight 和 I. E. Clarke 曾针对刚性充填料和软性充填料在三轴和单轴受压条件下的变形进行了试验研究，表明刚性充填材料的压缩率远远小于软性充填料，且在三轴压缩下的充填体强度高于单轴压缩条件。

2. 充填作用机理

充填体的作用机理研究对充填采矿设计和充填体稳定性分析极为重要,长期以来,充填体的作用机理一直是国内外许多学者和工程技术人员研究的一个重要课题。一般认为,充填体在采场内属于被动支护结构,它不能对围岩施加主动应力,而是借助于围岩的变形而被动受力,以被动反作用的方式作用于围岩,目的在于维护采场围岩的自身强度和支护结构的承载能力,防止采场或巷道围岩的局部垮冒或整体失稳,从而有效控制采场地压。

对于充填体的支护作用,布雷迪和布朗提出的作用机理包括以下3个方面:

一是表面支护作用。通过对采场边界关键块体的位移施加运动约束,充填体可以防止在低应力条件下岩体在空间上的渐进变形破坏。

二是局部支护作用。由邻近的采矿活动引起的采场壁帮岩体的准连续性刚体位移,使得充填体发挥被动抗体的作用。作用在充填体与岩体交界面上的支护压力允许在采场周边产生很高的局部应力梯度,并且已证明,小的表面荷载对摩擦型介质中的屈服区范围可能产生重大的影响。

三是总体支护作用。如果充填体受到适当的约束,它在矿山结构中可以起到一种总体支护构件的作用。也就是说,在岩体与充填体交界面上开采所诱导的位移将引起充填体的变形,而这类变形又导致了整个近工作面区域中应力状态的降低。

上述机理代表了充填体在矿山结构中不同的支护作用,即表面的、局部的和总体的支护,在任何情况下支护的工作方式都既与岩体性质也与充填体性质有关。

北京科技大学于学馥教授针对金川矿区所采用的充填材料与充填工艺,研究提出了充填体的3种作用机理:

一是应力转移与吸收。充填体进入采空区,最初是不受力的,以后随着充填体的压缩密实和强度的提高,具备了吸收应力

和转移应力的能力，从而也形成了地层“大家族”的成员，参与地层的自组织系统和活动。

二是应力隔离机理。充填体对围岩稳定的应力隔离作用有两种情况：一种是隔离水平应力；另一种是隔离垂直应力。

三是系统的共同作用。充填体充入地下采空区以后，由于充填体、围岩、原始地应力、开挖引起的附加应力等的共同作用，特别是开挖系统的自组织机能，使围岩变形得到控制，围岩能量耗散速度得到了减缓，矿山结构和围岩破坏的发展得到了控制。

值得注意的是在这里提到了充填体减缓了围岩能量耗散速度的作用，提出了围岩系统的能量耗散的速度决定了系统稳定性的观点。

南非在深井矿山的开采中，大多采用了充填采矿法，并对充填机理进行了相当多的研究。H. A. D. Kirsten 和 T. R. Stacey 研究指出，充填体维护采场稳定的作用方式是多样的，因此，支护机理不单纯是由充填体压缩所产生的作用来决定工作中充填体的稳定效果，而是由多种支护机理共同作用的结果。尽管任何一种支护机理的单独作用是极小的，但其积累起的作用可大大地影响采场覆岩的稳定性。他们提出如下的支护机理：

一是保持顶板岩层的完整性。顶板岩层是由断层、节理和裂隙等结构体切割组成的复杂岩体，由于采出作用形成的采空区，使得某些结构体具有滑移或冒落的可能。这些潜在冒落的拱顶岩块称之为“拱顶石”。充填体的最重要作用是在拱顶石和采场之间提供一种连接的支撑，延缓且最终阻止拱顶石的移动，从而提高顶板围岩的自身承载能力。在不充填的状况下，可能松动的拱顶石将从顶板自由冒落，从而引起连锁的冒落和塌垮而最终导致整个采场失稳。而充填后充填料中的细料进入拱顶石周围的开口节理和裂隙，这有助于保持拱顶石的稳定。

二是减轻地震波的危害。充填将在地震条件下提供最有意义