

瓦斯隧道揭煤施工技术

WASI SUIDAO JIEMEI SHIGONG JISHU

李晓红 李通林 编著
顾义磊 卢义玉



重庆大学出版社

瓦斯隧道揭煤施工技术

WASI SUIDAO JIEMEI SHIGONG JISHU

李晓红 李通林 编著
顾义磊 卢义玉

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书采用理论联系实际、理论与应用并重的指导思想编写而成。在理论部分,本书着重介绍了隧道揭煤施工发生煤与瓦斯突出机理,煤与瓦斯突出的发生条件,煤与瓦斯突出分类,以及隧道下卧煤层开采后引起上覆岩层破坏与地表移动规律及其对隧道稳定性的影响;在实际应用方面,对瓦斯隧道瓦斯浓度和煤层瓦斯含量的测定、煤与瓦斯突出危险性预测、隧道揭煤防突措施、隧道揭煤施工以及隧道附近采空区的处理等均有论述,并介绍有多个瓦斯隧道揭煤技术施工实例。

本书可供从事隧道工程及其他地下工程的工程技术人员参考,也可作为高等院校有关专业相关课程的教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

瓦斯隧道揭煤施工技术/李晓红编著. —重庆:重庆大学出版社,2005.6
ISBN 7-5624-3392-5

I. 瓦... II. 李... III. 瓦斯煤层采煤法 IV. TD823.82

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 066380 号

瓦斯隧道揭煤施工技术

李晓红 李通林 顾义磊 卢义玉 编 著

责任编辑:饶邦华 版式设计:张 晴

责任校对:邹 忌 责任印制:秦 梅

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:张鸽盛

社址:重庆市沙坪坝正街174号重庆大学(A区)内

邮编:400030

电话:(023) 65102378 65105781

传真:(023) 65103686 65105565

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn (市场营销部)

全国新华书店经销

自贡新华印刷厂印刷

*

开本:787×960 1/16 印张:18.25 字数:284千

2005年7月第1版 2005年7月第1次印刷

印数:1—1500

ISBN 7-5624-3392-5 定价:39.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究。

前 言

在富产煤炭的山岭地区修建铁路、高速公路,往往会遇到隧道工程通过煤系地层,并在浅部会遇到小煤窑的采空区和采煤巷道,在深部会出现穿越煤层问题。对于瓦斯隧道施工,为了安全作业,必须遵循《铁路瓦斯隧道技术暂行规定》、《煤与瓦斯突出防治细则》以及《公路隧道施工技术规范》等的规定与要求,从而保证瓦斯隧道揭煤施工与采空区处理的顺利实施。

近年来,作者在从事成渝高速公路中梁山隧道、广渝高速公路华蓥山隧道以及渝合高速公路西山坪隧道等有关施工技术问题研究的基础上,就隧道在煤系地层开挖、穿越采空区处理等问题进行了探讨,对瓦斯隧道施工前的瓦斯浓度和煤层瓦斯含量,以及煤与瓦斯突出危险性有关参数等的测量方法、隧道揭煤防突措施、揭煤施工、下卧煤层开采对隧道稳定性的影响、隧道下采空区的处理等问题进行了研究,并在书中做了一定介绍,其中有相当部分内容是作者所承担的多项隧道施工技术与应用科研项目取得的经验与研究成果。

本书在编写过程中,着重考虑了瓦斯隧道穿煤施工的特点,同时注意介绍国内有关瓦斯隧道穿煤的成功经验,尽力做到理论联系实际,强调实用性、可操作性与施工过程的安全性,力求内容全面、科学、系统。本书可供从事隧道工程以及其他地下工程的工程技术人员参考,也可作为高等院校有关专业相关课程的教材或教学参考书。

此书获国家自然科学基金重点项目“隧道与地下空间工程结构物的稳定性与可靠性研究”(编号 50334060)和西南资源开发及环境灾害控制工程教育部重点实验室

基金资助。

在编写过程中,作者引用和参考了大量文献与有关设计资料,在此特向原作者致以谢意。

由于编写时间仓促,作者水平有限,书中内容难免存在缺点和错误,敬请读者批评指正。

作 者
2005 年 5 月

目 录

绪论	1
1 隧道揭煤发生煤与瓦斯突出机理	4
1.1 国内外突出机理研究简述	4
1.2 煤与瓦斯突出发生的条件	7
1.3 煤与瓦斯突出的分类	10
1.4 煤与瓦斯突出的一般规律与突出过程	12
2 穿煤隧道瓦斯浓度和煤层瓦斯含量的测定	15
2.1 瓦斯浓度检测	15
2.2 煤层瓦斯含量测定	29
3 煤与瓦斯突出危险性预测	39
3.1 概述	39
3.2 煤与瓦斯突出危险性参数及其测定方法	41
3.3 煤与瓦斯突出预测参数的参考值	56

4	隧道揭煤防突措施	61
4.1	震动性放炮	62
4.2	多排钻孔	69
4.3	管棚支撑	73
4.4	水力冲孔法	76
4.5	超前钻孔	80
4.6	深孔松动爆破	85
5	瓦斯隧道揭煤施工	88
5.1	瓦斯隧道揭煤防突综合措施实施程序	89
5.2	防突措施的制定	93
5.3	瓦斯隧道爆破技术与爆破器材	100
5.4	揭煤施工技术	117
5.5	瓦斯隧道通风工作	125
5.6	隧道穿煤段衬砌防瓦斯逸出的特殊要求	131
6	隧道下卧煤层开采引起的岩层移动及保护煤柱的留设	132
6.1	岩层移动基本概念	132
6.2	地下开采引起覆盖岩层破坏与移动规律	133
6.3	影响地表移动的主要因素	144
6.4	保护煤柱的留设	154
6.5	华蓥山隧道穿煤段煤柱的留设	157

7	下卧煤层开采对隧道稳定性的影响	166
7.1	下卧煤层开采对隧道稳定性影响的研究方法	166
7.2	隧道周围保护范围的确定	174
8	受下卧煤层采动影响的隧道结构稳定性	196
8.1	概述	196
8.2	隧道基本力学模型及荷载	197
8.3	华葢山隧道工程实例分析	201
9	临近隧道地段采空区处理	217
9.1	临近隧道地段采空区对隧道的危害与处理	217
9.2	西山坪隧道下采空区的处理	220
10	隧道揭煤工程实例	233
10.1	南昆铁路家竹箐隧道揭煤施工	234
10.2	内昆铁路朱嘎隧道进口揭煤施工	255
10.3	渝合高速公路西山坪隧道出口穿煤施工	264
参考文献		282

绪 论

随着西部大开发战略的实施,我国铁路、公路建设在西部山岭地区掀起新的建设高潮。在许多高等级公路上,采用隧道方案,改善了线形,缩短了里程,在一定条件下其优越性越来越多地为道路设计者和建设者所公认。为此,隧道工程日益增多,且它往往是整条铁路和高速公路建设的控制性工程,尤其是山岭地区复杂地质条件下的铁路、公路隧道更是如此。近年来,随着山岭地区交通快车道的大力建设,铁路、公路隧道穿越岩性软弱的煤系地区和赋存高压力的煤层瓦斯隧道比较多见。在建设铁路、公路隧道时,虽然会尽可能地避免煤层地区,但往往代价巨大,有时也不得不从煤田穿过。这就必然会遇到瓦斯隧道和穿煤隧道的施工。以前,在国内,不论是铁路还是公路,所修建的瓦斯隧道和穿煤隧道并不多,对这类隧道的施工,特别是钻爆技术方面与矿业工程实施的钻爆技术相比,尚有一定差距。1991年铁道部制定了我国第一部《铁路瓦斯隧道技术暂行规定》,对铁路隧道爆破安全技术方面做了具体规定。对于公路隧道施工,目前尚未有类似的规定发布。为了瓦斯隧道、穿煤隧道施工时的安全,不论是铁路隧道还是公路隧道,目前多借鉴煤矿安全技术的有关规定进行施工。

在煤系地层中修建隧道往往会遇到以下困难:

- (1)煤系地层多数含有瓦斯,当瓦斯浓度*高时,遇火源有燃烧和爆炸的危险。
- (2)在瓦斯压力高的煤系地层施工时,有可能发生煤与瓦斯突出。所谓突出,是

* 本书中所述的浓度皆指体积分数。

指在地应力和瓦斯压力的共同作用下,煤层被压碎并与瓦斯一道突然突出。

(3)煤系地层岩性较软,隧道深埋、地层压力较大时,隧道施工会使其产生大量的塑性变形,往往给施工与支护带来一定困难。

(4)煤系地层一般不是单一煤层,尤其是二叠系龙潭组煤系地层,含煤近30层,如南昆铁路家竹箐隧道,不论在通过煤层的层数、厚度、瓦斯含量、瓦斯压力,还是挤压性围岩的长度、隧道变形的严重程度,在国内均首屈一指,这给隧道施工造成一定难度。

我国铁路于20世纪50年代末修建的贵昆线岩脚寨隧道,80年代修建的侯月线云台山隧道,90年代修建的达成线炮台山隧道,以及以后修建的南昆线天生桥隧道与家竹箐隧道,内昆线朱嘎隧道,水(六盘水)柏(果)线发耳隧道,成渝高速公路中梁山隧道,广渝高速公路华蓥山隧道和渝合高速公路西山坪隧道,均是有名的瓦斯隧道。其中,岩脚寨隧道和炮台山隧道在施工中发生过瓦斯爆炸,损失惨重。

由于隧道穿过煤层,将面临防突、防塌、防瓦斯及有害气体等安全问题。如果在穿煤前对煤与瓦斯突出没有充分的认识和准备,不仅会增加隧道建设费用,延误隧道的建设工期,而且还会发生严重的生产事故。所以,隧道穿煤施工中的安全问题一直是隧道穿煤施工中的重点。

国内外开采突出煤层的实践证明,煤与瓦斯突出只发生在局部地区,因此,要进行突出危险性预测,以便区分突出危险区、突出威胁区和无突出危险区。只在突出危险区内采取防突措施,而在无突出危险区只采取安全防护措施。这样可以大量地节约隧道揭煤防突工作量,减少防突工作的盲目性。因此,准确预测穿煤地段的煤与瓦斯突出的危险性,对安全、经济地穿越煤层具有重要的现实意义。

煤与瓦斯突出是发生在地下的一种复杂的地质危害,这种复杂性主要表现在:

(1)影响煤与瓦斯突出的各种因素本身具有不精确性。

(2)影响突出的因素与突出事件之间的相关关系具有不精确性。

(3)人们对于煤与瓦斯突出的发生、发展机理尚未完全弄清楚,影响煤与瓦斯突出的许多因素又常常是突出发生的必要条件或有利条件,但却不是充分条件。

由于以上原因,使得基于经验的煤与瓦斯突出预测方法和基于数学建模的定量

统计方法的实际应用均受到较大限制,预测结果往往弹性较大。因此,一些学者强调的用“明确的输入,正确的输出”的基于黑箱理论的模糊神经网络方法,来预测煤与瓦斯突出的有关问题越来越引起学术界的关注。其优点在于:一方面,借助于成熟的模糊理论与技术较客观地实现了突出预测中不精确信息与不精确关系的正确表达与处理;另一方面借助于神经网络在信息映像方面的优势,能够捕捉蕴藏在突出历史资料中的影响突出因素与突出事件之间的相关规律,弥补传统预测方法和人类认识程度的不足,从而实现煤与瓦斯突出的正确预测。

在准确预测揭煤突出危险性的基础上,如何经济、安全、快捷地穿过煤系地层,是提高隧道工程建设经济效益的关键。所以,在准确预测揭煤突出危险性的基础上,研究隧道揭煤的施工技术,综合考虑施工中各个流程,合理设计开挖方式、爆破方案、通风方案以及过煤段的支护方案,从而实现铁路、公路隧道经济、安全、快捷地穿过煤系地层,具有重要的实际意义。

为了使瓦斯隧道与隧道揭煤地段施工顺利通过,确保施工安全,本书将就有关瓦斯隧道揭煤防突综合措施实施程序、防突措施的制定原则、隧道瓦斯监测与突出危险性评估项目、煤与瓦斯突出危险性预测、隧道揭煤防突措施以及隧道揭煤施工等进行全面介绍。为了保护隧道穿煤地段支护结构在运营期间不致被破坏,必须留设煤柱,以确保隧道的长期稳定和运营的安全,但是煤柱留设过大,必然造成矿产资源的过多损失;如果煤柱留设尺寸太小,形成支护强度不足,将会破坏隧道结构,影响隧道正常运营。因此,合理的煤柱留设、隧道下卧煤层的禁采深度、穿煤隧道的保护范围、隧道支护结构的加固,以及隧道下采空区的处理等,本书也将作详细介绍。

本书供从事隧道工程的工程技术人员在工程实践中参考,也可作为高等院校地下工程专业及岩土工程专业的教材使用。

1 隧道揭煤发生煤与瓦斯突出机理

1.1 国内外突出机理研究简述

煤与瓦斯突出的机理就是突出的发生、发展和终止原因与过程的解释和描述。煤与瓦斯突出是发生在煤矿生产中的一种极其复杂的动力现象,它能在极短的时间内由煤体向巷道或采场突出大量的煤炭并涌出大量瓦斯,造成十分巨大的动力效应,被认为是严重威胁煤矿安全生产的地质灾害。隧道(石门)揭开煤层时的煤与瓦斯突出,可以在放炮时揭开,也可在自行揭煤和过煤门放门坎炮时发生,其特点不仅是强度大而且频率较高。在我国几十起特大型突出事件中,石门揭煤发生的突出就占了75.9%。

1.1.1 国外对煤与瓦斯突出机理的认识

国外关于煤与瓦斯突出机理的假说可以归纳成以下四类观点:

(1)瓦斯作用假说:认为瓦斯在突出中起主要作用,地压起辅助作用,因为煤层瓦斯压力很高,突出喷出的瓦斯量都大于煤层瓦斯含量。

(2)地压类假说:认为地压(包括静压力、集中压力、地质构造应力)在突出中起主导作用,瓦斯只是次要因素。因为突出发生在地压大的构造带,突出孔洞沿集中压力区发展。

(3)化学本质假说:认为煤与瓦斯突出是在一定条件下由于煤与瓦斯的化学作用产生大量能量而形成的。

(4)综合作用假说:认为煤与瓦斯突出是由瓦斯、地应力和煤的结构及物理力学性质等多因素共同作用的结果。

以上前三种假说为单因素假说,后一种为多因素假说。综合作用假说以前苏联 Ходог 的能量假说和 Бобров 的应力分布不均匀假说为代表。

能量假说认为:煤与瓦斯突出是由煤的变形潜能和瓦斯内能引起的,在煤层应力状态发生突然变化时,潜能释放引起煤体高速破坏。煤层埋深、瓦斯压力、瓦斯含量、煤的强度等是突出激发和发展的主要因素,采动外部因素也有一定作用。在实验的基础上,能量观点利用弹性力学方法全面系统地阐述了煤与瓦斯发生突出的原因、准备和发展过程,并利用数学方法分析了煤层变形的潜能、围岩的动能、瓦斯内能、造成突出需要的动能,提出地压是发动突出、发展突出的决定因素,瓦斯提供了抛出煤体、粉碎煤体的功,煤体结构松软是有利条件。

应力分布不均匀假说认为:围岩中不均匀分布的地应力、高的煤层瓦斯压力和低的透气性、松软的煤体是发生突出的有利条件,其中应力分布不均匀的主要原因在于围岩中存在残余构造应力,个别情况是由采掘过程引起的。应力分布不均匀假说建立在大量现场研究基础上,尤其是明确提出构造应力在突出中的作用。

1.1.2 国内对煤与瓦斯突出机理的认识

在国外学者研究的基础上,我国从 20 世纪 60 年代起就对突出煤层的应力状态、瓦斯赋存状态、煤的物理力学性能等开展了研究,根据现场资料和试验研究对突出机理进行了探讨,提出了新的见解和观点,特别是近几年来随着研究的深入及先进手段的应用,产生了许多新认识,目前已能对突出发生的原因、条件、能量来源做出定性的解释和近似的定量计算,为防治措施选择及效果检验提供了理论依据。概括

起来主要有以下几方面:

(1)中心扩张学说:认为煤与瓦斯突出是从离工作面某一距离处的中心开始,尔后向周围扩张,由发动中心的煤-岩石-瓦斯体系提供能量并参与活动。在煤与瓦斯突出的地点地应力、瓦斯压力、煤体结构和煤质是不均匀的,突出发动中心就处在应力集中点。煤体的低透气性有助于建立大的瓦斯压力梯度。

(2)流变假说:认为煤与瓦斯突出是含瓦斯煤体在采动影响后地应力与孔隙瓦斯气体偶合的一种流变过程。在突出的准备阶段含瓦斯煤体发生蠕变形成裂隙网,之后瓦斯能量冲跨破坏的煤体发生突出。该观点对于延期突出给予了很好的解释。

(3)二相流体假说:认为突出的本质是在突出中形成的煤粒和瓦斯的二相流体,二相流体受压积蓄能量、卸压膨胀能量,冲破阻碍区形成突出。强调突出的动力源是压缩积蓄、卸压膨胀能量,不是煤岩弹性能。

(4)固体偶合失稳理论:认为突出是含瓦斯煤体在采掘活动的影响下,局部发生迅速、突然破坏而生成的现象。采深和瓦斯压力的增加都将使突出发生的危险性增加。

(5)球壳失稳观点:认为突出的过程实质是地应力破坏煤体,煤体释放瓦斯,瓦斯使煤体裂隙扩张并使之形成煤壳失稳破坏,煤体的破坏以球盖状煤壳的形成、扩展及失稳抛出为主要特点。这种观点对于解释突出孔洞的形状及形成过程很有帮助。

此外,中国科学院力学研究所从力学角度对突出过程做了大量的研究工作,并提出了突出破坏过程及瓦斯渗流的机制方程。

总之,煤与瓦斯突出是一种极为复杂的动力现象,影响突出的因素很多,这些因素彼此之间又互有联系和影响。因此对于突出机理的认识和看法也是多种多样,假说很多,尚未得出公认的一致假说或学说,需要进一步研究。

1.1.3 国内外对煤与瓦斯突出机理研究存在的问题

综上所述,在研究煤与瓦斯突出机理及其发生条件方面国内外都取得了重大进展,但是由于问题的复杂性及突出特征的多样性,对突出机理的研究工作有待进一

步深入。

关于突出机理的认识还存在分歧,对于突出中各种现象还不能予以全面解释。概括起来对突出机理的研究主要有三个方面:

- (1)对突出过程及突出特征的解释;
- (2)对突出的力学实验研究;
- (3)利用数学力学方法对突出模型的研究。

如果将不同方面对煤与瓦斯突出机理研究统一起来会使突出机理的认识产生飞跃。

1.2 煤与瓦斯突出发生的条件

煤与瓦斯突出是由地应力与包含在煤中的瓦斯以及煤的结构、力学性质综合作用的动力现象。在煤与瓦斯的突出过程中,地应力、瓦斯压力是发动与发展煤和瓦斯突出的动力,煤的结构、力学性质则是阻碍突出发生的因素,它们存在于一个共同体中,有其内在联系,但不同因素对突出的作用不同。

1.2.1 发生突出的地应力条件

地应力包括自重应力、构造应力和采动应力。地应力对突出主要有三方面的作用,即:

(1)由于地应力的作用使围岩或煤体的弹性变形潜能做功,造成煤体产生突然破坏和位移。

(2)地应力控制瓦斯压力场,促使瓦斯破坏煤体。

(3)围岩中应力增加决定了煤层的低透气性,造成瓦斯压力梯度增高,煤体一旦破坏对突出有利。可见煤层和围岩具有较高的地应力,并在近工作面地带煤层的应力状态发生突然变化,使潜能有可能突然释放,这是发生煤与瓦斯突出的第一个必要和充分条件,如图 1.1 所示。

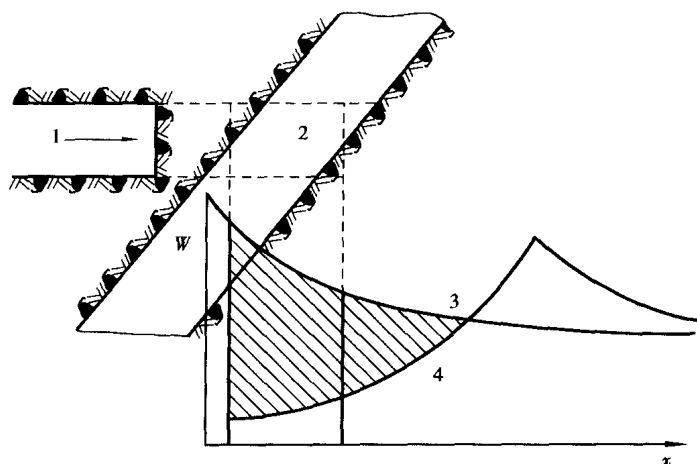


图 1.1 隧道揭开煤层时潜能的释放

1—隧道;2—煤层;3—揭开前围岩和煤层中的潜能分布曲线;
4—揭开后围岩和煤层中的潜能分布曲线

1.2.2 瓦斯在突出中的作用

存在于煤裂隙和煤孔隙中的瓦斯对煤体有以下作用:

- (1) 全面压缩煤的骨架,促使煤体产生潜能。
- (2) 吸附在微孔表面的瓦斯分子,对微孔起楔子作用,从而降低煤的强度。
- (3) 瓦斯压力有降低地应力的作用。

瓦斯的解吸使煤的破碎和移动进一步加强,并由于瓦斯流不断地把碎煤抛出,使突出空洞壁始终保持着一个较大的地应力梯度和瓦斯压力梯度,使煤的破碎不断向深处发展,因此,有足够多的瓦斯流把碎煤抛出,并且突出孔道畅通,使空洞壁形成较大的地应力梯度和瓦斯压力梯度,利于煤体破碎向深部扩展。所以瓦斯的作用是突出发生的第二个必要和充分条件。

1.2.3 发生突出的煤体结构条件

煤体结构破坏程度影响煤层的力学性质和对瓦斯的储集能力,因而不同的煤体

结构类型具有不同的突出危险性。国内外对煤体结构进行了广泛的研究。前苏联科学院地质研究所基于煤中原生和次生节理的变化、微裂隙间距、断口和光泽特征,将煤体结构分为五种类型,并认为Ⅳ、Ⅴ类破坏类型的煤体结构分层是发生煤与瓦斯突出的必要条件。

中国矿业学院瓦斯组在此分类的基础上,把煤体结构的破坏程度分为甲、乙、丙3类。焦作矿业学院从瓦斯地质角度出发,根据煤体宏观和微观结构特征,以构造煤的类型为基础,将煤体结构划分为四种类型,指出构造煤是煤与瓦斯突出的必要条件。煤炭工业部颁发的《防治煤与瓦斯突出细则》以前苏联五类划分为基础,提出了煤体结构破坏类型划分新标准。研究表明,随着煤体结构破坏类型增加,突出危险性增大。

1.2.4 控制突出分布的地质条件

煤与瓦斯突出是一种地质灾害,其发生受地质条件控制。国外对煤与瓦斯突出的地质条件有较为详细的研究,如前苏联学者对顿巴斯煤层突出的地质条件研究表明,突出的分布受地质因素控制,具有不均匀分布规律性,突出与构造的复杂程度、煤层围岩、煤变质程度有关,并提出了确定煤层突出危险性的地质指标。澳大利亚学者 Shepherd 对地质构造和煤与瓦斯突出分布的关系也做了广泛的研究,对发生突出点的构造性质及其影响突出的原因进行了深入的探讨。

我国对煤与瓦斯突出地质条件的研究更为广泛。20世纪60年代抚顺煤矿安全研究所开始了瓦斯赋存地质条件的研究;70年代四川矿业学院和焦作矿业学院将地质观点用于煤与瓦斯突出分布规律的研究;80年代焦作矿业学院提出的瓦斯地质编图是全国瓦斯地质研究的普及。瓦斯地质区划论阐明了瓦斯分布和突出分布的不均衡性,分区带性与地质条件的关系,地质条件控制突出分布的规律性,利用地质条件可以进行瓦斯突出的预测。瓦斯地质区划论的提出标志着地质条件对煤与瓦斯突出控制理论体系的形成。对我国瓦斯地质规律进一步的研究表明,煤层中高瓦斯含量是突出的地质基础,构造煤是突出的必要条件。压性和压扭性构造的发育是导致突出的重要因素,它有助于构造煤的形成和在地应力条件下高压瓦斯的聚积。