

旋喷注浆 加固地基技术

中 国 铁 道 出 版 社

1984年·北京

旋喷注浆 加固地基技术

中 国 铁 道 出 版 社

1984年·北京

内 容 简 介

本书系旋喷注浆加固地基的专著，全书共分七章，分别论述了高压旋喷注浆固结成桩原理，浆液材料和配方，旋喷主要机具设备、适用范围，施工技术和设计计算方法，并列举了国内外一些行之有效的工程实例。对加固桥隧基础、整治既有建筑物地基不均匀下沉、处理路基病害和帷幕防渗等工程，均取得了良好效果。此外，计量单位均使用了国际计量单位。

本书可供铁路、公路、市政工程、水利电力、矿山、公共与民用建筑等部门从事地基基础设计、施工、维修等方面的工程技术人员参考，也可供大专院校有关专业师生阅读。

旋喷注浆加固地基技术

铁道部旋喷注浆科研协作组编著

中国铁道出版社出版

责任编辑 张善同 封面设计 翟 达

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

中国铁道出版社印刷厂印

开本：850×1168 $\frac{1}{2}$ 印张：9.75 字数：259千

1984年8月第1版第1次印刷

印数：0001—4,000册 定价：2.10元

序

旋喷注浆是近十年来发展起来的一项土体加固新技术。它是利用工程钻机，将旋喷注浆管置于预计的地基加固深度。通过钻杆旋转，徐徐上升时机，将预先配置好的浆液，用一定的压力，从喷嘴中喷射液流，冲击土体，把土和浆液搅拌成混合体，随后凝聚固结，形成一种新的有一定强度的人工地基。这一整套地基加固方法，我们称它为旋喷注浆加固地基技术。简称旋喷技术。

旋喷注浆加固地基的深度，主要取决于钻机设备的适应性能（不仅仅是机械性能）；土体固结的半径，主要取决于旋转时喷射的搅动半径；土体加固的强度，主要取决于浆液与土质的性质和凝固过程。这三方面因素，既有相互配合又有相互制约的特征。要掌握这项新技术，首先要从这三大因素着手，然后进一步掌握三大因素的相互关系。施工前，必需根据工程的具体条件和技术状态来选择喷射的各种性能参数。施工过程中，还要不断的取样进行分析，以保证工程质量，满足设计要求。这样，才能收到应有的技术经济效果。

本书对上述三大内容和应用方法，均有详细的阐述和介绍，并提供了一些有代表性的实例和技术资料，包括部分国外情况。可供工程实践中参考采用。

本书由铁道部旋喷科研协作组即铁道科学研究院、郑州、广州、兰州、沈阳等铁路局有关科技人员分工编写的，是他们从全路有关单位多年来的研究试验和推广应用的经验中总结出来的，它对推广和提高旋喷技术，将会起到积极的推动作用。

旋喷技术很适合我国社会主义建设的需要，适应性比较强，并已在地基加固工程中实际应用，收到了显著经济技术效果。该

技术还蕴藏着很大的技术潜力和经济效益，有待土木、机械、化学物理、新型材料等各行业的科学技术人员继续协力发掘。我们深信：在科学技术进步的过程中，该项技术将会得到进一步发展，在推广过程中将会为国家节约或创造更多的财富。这本书出版后，通过广大工程技术人员的不断应用实践，毫无疑问，一定能够推陈出新，更上一层楼。

铁道部科技局高级工程师 张光暹

一九八三年三月

前 言

旋喷注浆加固地基是近十多年来兴起和发展起来的一门新技术。适用于砂类土、粘性土、黄土和人工填土等地层。它可作为新建构筑物的地基加固，也可作为既有构筑物的地基补强，还可用作承重、防止基础渗漏、防止砂土液化及地基隆起等，是一种设备简单、操作灵便、成本较低、见效快和功能多的施工方法。能够解决用其它加固方法难以奏效的困难地基问题，具有良好的技术效果和一定的经济效益。因此这门新技术一出现，便显示出巨大的优越性，得到愈来愈广泛的重视和应用。

我们铁道部门研究和应用旋喷注浆技术最早，自1972年开始，在机具设备、旋喷工艺、浆液配方和现代试验等方面，做了许多的工作。在应用上，已从地基加固推广到桩基基础，从桥梁隧道与路基推广到工业与民用建筑物，由提高地基承载力推广到防水、防渗、防流砂，积累了一定的经验。为了适应国民经济的不断发展，需要总结十年来，在旋喷注浆方面的研究、设计和施工实践经验，促进我国旋喷注浆技术朝着更深更广的方向发展。1981年在铁道部旋喷注浆科研协作组第二次会议上，许多同志提出了对该项技术进行总结的建议，铁道部旋喷注浆科研协作组邀请了目前正在从事旋喷科研和施工的有关单位人员，参加编写工作。

本书编写的人员（按章节顺序）为：铁道部科学研究院朱庆林（第一章，第二章第三、四节，第六章第二节，第七章第一节）；铁道部第二勘测设计院吴钟秀（第二章第一、二节，第七章第二节）；广州铁路局柯存远（第三章第一、二、三、四、五节，第七章第五节）；铁道部科学研究院张文浩（第三章第六、

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 旋喷注浆法的概况	(1)
第二节 旋喷注浆法的主要特征与固结体的基本性质	(6)
第三节 旋喷注浆技术的适用范围	(11)
第四节 旋喷注浆技术的回顾与展望	(16)
第二章 旋喷注浆加固地基的原理	(24)
第一节 高压喷射流的基本形态	(24)
第二节 高压喷射流的构造	(28)
第三节 水(浆)气同轴喷射流的构造	(36)
第四节 旋喷注浆的成桩作用原理	(41)
第三章 旋喷注浆机具设备	(47)
第一节 旋喷机具概况	(47)
第二节 钻机	(52)
第三节 高压泵	(65)
第四节 泥浆泵	(72)
第五节 空气压缩机	(75)
第六节 注浆管的类型与结构	(80)
第七节 喷咀的结构与材质	(101)
第八节 其他附属设备	(105)
第四章 旋喷注浆材料	(114)
第一节 旋喷浆液必须具备的特性	(114)
第二节 各种旋喷浆液的主要性能	(117)
第三节 水泥系浆液的类型与配方	(128)
第四节 旋喷浆液在土体中的硬化机理	(133)
第五章 旋喷注浆设计	(144)
第一节 旋喷注浆设计前的调查	(144)
第二节 固结体强度设计和浆液配方的选定	(147)
第三节 旋喷方式与参数对固结体质量的影响	(152)

第四节	旋喷固结体直径的设计和孔位的布置·····	(159)
第五节	浆液用量的计算·····	(170)
第六节	旋喷注浆工程的设计计算·····	(172)
第六章	旋喷注浆施工·····	(204)
第一节	施工组织与准备工作·····	(204)
第二节	旋喷注浆施工·····	(211)
第三节	施工管理·····	(219)
第四节	高压泵及震动钻机的常见故障及其处理方法·····	(225)
第五节	旋喷法施工质量检查和方法·····	(227)
第七章	旋喷注浆在工程建设中的应用·····	(233)
第一节	在工程建设中的应用概况·····	(233)
第二节	旋喷注浆技术在加固桥梁墩台基础中的应用·····	(237)
第三节	旋喷注浆技术在加固既有房屋基础的应用·····	(255)
第四节	旋喷注浆技术在新建房屋基础上的应用·····	(263)
第五节	旋喷注浆技术在路基加固中的应用·····	(276)
第六节	神秘隧道溶岩地段边墙底部地基加固·····	(281)
第七节	旋喷注浆技术在其他工程中的应用·····	(288)
参考文献	·····	(299)

第一章 概 论

第一节 旋喷注浆法的概况

一、旋喷法的由来

随着国民经济建设发展的需要，现代化的工业与民用建筑、水利、电力、交通、市政等建设工程数量日益增多，建筑地域愈加广阔，对地基基础的要求也越来越严格。地基基础是一切建筑工程的一个重要组成部分，它的质量好坏不仅关系到构筑物的本身质量的优劣和功能的发挥，而且还直接影响到整个工程的造价和施工建设的速度。天然地基又往往存在着某些缺陷，难以适应工程的全部需要。此外，由于种种原因，很多工程必须修建在一些工程地质或水文地质情况十分复杂的地基上，因此势必要对这些地基进行人工处理，以满足工程的需要。所谓地基处理，就是采取一定的物理或化学方法，改变地基的天然状态，增加地基的强度和稳定性，减少地基的变形，以达到保证构筑物安全使用的目的。

高压喷射注浆法是在静压注浆的基础上，应用高压喷射技术而创立起来的。静压注浆是化学处理地基的方法之一，它把注浆管静置于土层或岩石裂隙中，以较低的压力，把能凝固的浆液以填充、裂隙、渗透和挤压等方式注入其内，浆液产生凝胶，便把原来松散的土，固结为有一定强度和防渗性能的整体或把岩石裂隙堵塞起来，从而起到加固地基或防渗堵水作用。在静压注浆问世后的180年历史发展过程中，不断改进和提高，逐渐形成为一门学科，在铁道、水电、煤炭、冶金、石油化学、建筑和一些军事工程中得到了较广泛的应用，对生产建设起到了应有的作用。但是静压注浆对颗粒细小的砂类土和含泥量大的粘性土等软弱地

基，由于浆液不能均匀渗透，加固的效果较差，尚不能完全适应生产建设的新要求，迫切需要一种新的注浆方法。随着科学技术的发展，现代工业提供了高压泵、钻机、硬质合金喷嘴等先进的技术装备，水力采煤的应用和高压水喷射流切割技术的发展，为新的注浆法诞生创造了坚实的物质基础和理论条件，于是在六十年代后期，别具一格的新型高压喷射注浆法便应运而生了。随着工程的需要，高压喷射注浆法中形成了旋转喷射注浆法和定向喷射注浆两种形式法。

由于高压喷射注浆法的出现，注浆法便形成了静压注浆和高压喷射注浆两大支系，见表1—1。

注浆法分类表

表 1—1

注 浆 方 法	形 式	固 结 体 的 形 状
注浆法	高压喷射注浆	旋转喷射注浆 { 均匀圆柱状固结体 圆盘状固结体 异形圆柱状固结体 定向喷射注浆—壁状固结体
	静压注浆	填充注浆 裂隙注浆 渗透注浆 挤压注浆 } 不规则状固结体

二、旋喷注浆的定义

高压喷射注浆法就是将带有特殊喷嘴的注浆管，置入土层的预定深度后，以20兆帕（MPa）*左右压力的高压喷射流，强力冲击破坏土体，使浆液与土搅拌混合，经过凝结固化，便在土中形成固结体。固结体的形状和喷射流移动方向有关。一般分为旋转喷射（简称旋喷）和定向喷射（简称定喷）两种注浆形式。旋喷时，喷嘴一面喷射一面旋转和提升，固结体呈圆柱状，如图

* $1 \text{ kgf/m}^2 = 9.80665 \text{ Pa}$ （帕）、 $1 \text{ kgf/cm}^2 = 0.0980665 \text{ MPa}$ （兆帕）、 $1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$ 。

1—1所示。主要用于加固地基，提高地基的抗剪强度、改善土的变形性质，使其在上部结构荷载直接作用下，不产生破坏或过大的变形；也可以组成闭合的帷幕，用于截阻地下水流。定喷时，喷咀一面喷射一面提升，喷射的方向固定不变，固结体形如壁状，如图1—2所示，通常用于基础防渗、改善地基土的水流性质和稳定边坡等工程。

三、旋喷注浆工艺和类型

作为地基加固，通常采用旋喷注浆形式，使加固体在土中成为均匀的圆柱体或异型圆柱体。

现代科学技术的发展，促进了旋喷注浆法进一步完善与提高，由于不断改进工艺和研制新型机具，旋喷技术有了较快的发展，自单管旋喷法问世以来，在短短的几年内，二重管旋喷法和三重管旋喷法相继达到了实用程度。到七十年代中期，已逐步形成了一套体系，它的基本工艺类型有三种：



图1—1 旋喷柱状固结体

（一）单管旋喷注浆法

单管旋喷注浆法是利用钻机等设备，把安装在注浆管（单管）底部侧面的特殊喷咀，置入土层预定深度后，用高压泥浆泵等高压发生装置，以20兆帕左右的压力。把浆液从喷咀中喷射出去冲击破坏土体，同时借助注浆管的旋转和提升运动，使浆液与从土体上崩落下来的土搅拌混合，经过一定时间凝固，便在土中形成圆柱状的固结体，如图1—3所示。

（二）二重管旋喷法

使用双通道的二重注浆管。当二重注浆管钻进到土层的预定

深度后，通过在管底部侧面的一个同轴双重喷咀，同时喷射出高压浆液和空气两种介质的喷射流冲击破坏土体。即以高压泥浆泵等高压发生装置喷射出20兆帕左右压力的浆液，从内喷咀中高速喷出。并用0.7兆帕左右压力把压缩空气，从外喷咀中喷出。在高压浆液流和它外圈环绕气流的作用下，破坏土体的能量显著增大，当喷咀一面喷射一面旋转和提升，最后在土中形成圆柱状固结体。固结体的直径明显增加，如图1—4所示。

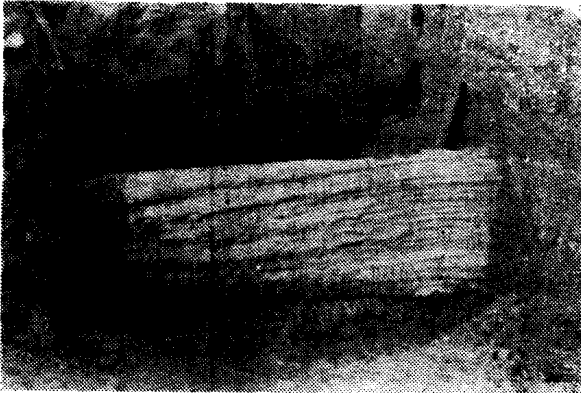


图1—2 定喷壁状固结体

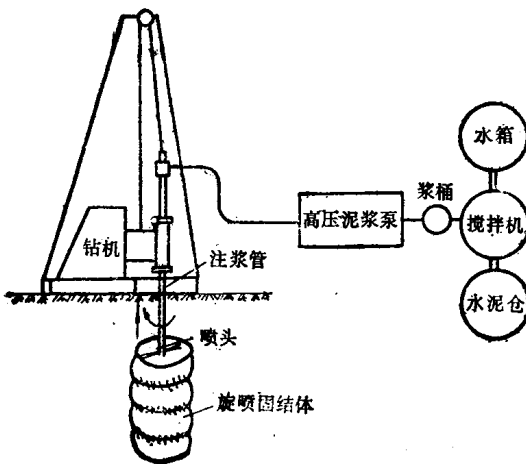


图1—3 单管旋喷注浆示意图

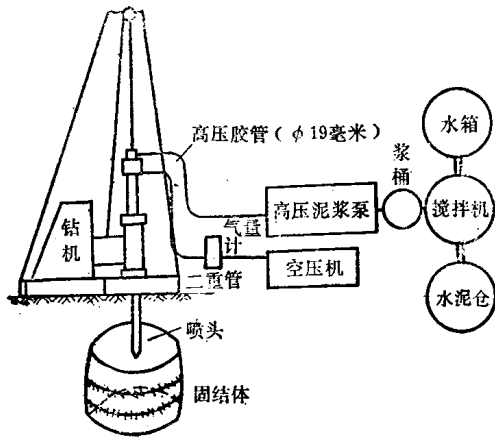


图 1—4 二重管旋喷注浆示意图

(三) 三重管旋喷注浆

分别使用输送水、气、浆三种介质的三重注浆管。在以高压泵等高压发生装置产生20兆帕左右的高压水喷射流的周围，环绕一股0.7兆帕左右的圆筒状气流，进行高压水喷射流和气流同轴喷射冲切土体，形成较大的空隙，再另由泥浆泵注入压力为2~5兆帕的浆液填充，当喷嘴作旋转和提升运动，最后便在土中凝固为直径较大的圆柱状固结体，见图1—5。

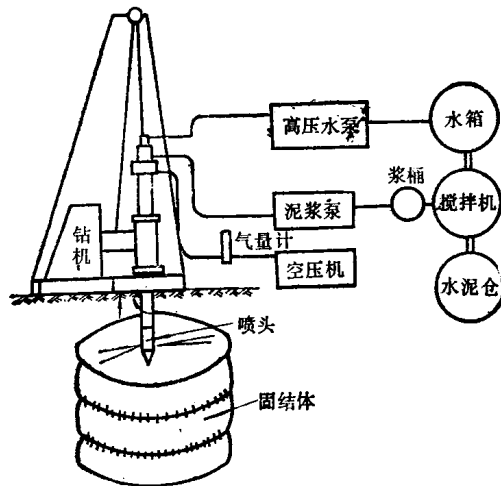


图 1—5 三重管旋喷注浆示意图

第二节 旋喷注浆法的主要 特征与固结体的基本性质

一、旋喷注浆法的主要特征

以高压喷射流直接冲击破坏土体，浆液与土自行拌合为均匀的固结体旋喷注浆法，从施工方法、加固质量到适用范围，不但与静压注浆法有所不同，而且与其他地基处理方法相比，更有独到之处。旋喷注浆法的主要特征如下：

（一）适用的范围较广

旋喷注浆法不再象静压注浆那样，以调整浆液材料配方和注浆工艺去适应不同土质和土层结构的传统做法，而以高压喷射流直接破坏并加固土体，固结体的质量明显提高，适用范围扩大。它既可用于工程新建之前，也可用于工程修建之中，特别是用于工程落成之后，显示出不损坏构筑物上部结构和不影响运营使用的长处。

（二）施工简便

旋喷施工时，只需在土层中钻一个孔径为50毫米或108毫米的小孔，便可在土中喷射成直径为0.4~2.0米的固结体。而且能灵活地成型。它既可在钻孔的全长成柱型固结体，也可仅作其中一段，如在钻孔底部或在钻孔的中间任何部位。

（三）固结体形状可以控制

为满足工程的需要，在旋喷过程中，可调整旋转速度和提升速度、增减喷射压力或更换喷嘴孔径改变流量，使固结体成为设计所需要的形状，如图1—6所示。

（四）确保固结体的强度

根据采用不同的浆液种类和配方，即可获得所需的固结体强度。当前采用水泥浆液，粘性土固结体的抗压强度最高为5~10兆帕，砂类土固结体的抗压强度最高可达10~20兆帕。

（五）有较好的耐久性

在一般的软弱地基中加固，高压喷射工艺和其他施工工艺相

比，因其加固结构和适用范围不同，加固效果虽不能一概而论，但从使用的浆液性质来看，能预期得到稳定的加固效果并有较好的耐久性能。

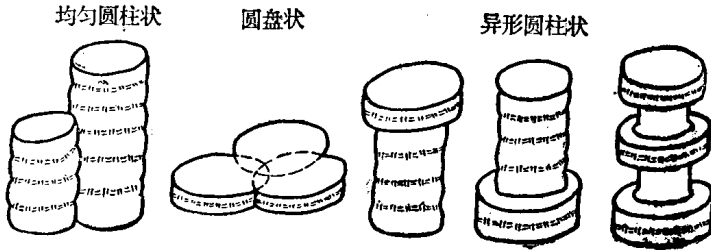


图 1—6 固结体的基本形状示意图

(六) 料源广阔价格低廉

喷射的浆液是以水泥为主，化学材料为辅。除了在要求速凝超早强时使用化学材料以外，一般的地基工程均使用料源广阔价格低廉的325号或425号普通硅酸盐水泥。若处于地下水流速快或含有腐蚀性元素、土的含水率大或固结强度要求高的场合下，则可根据工程需要，在水泥中掺入适量的外加剂，以达到速凝、高强、抗冻、耐蚀和浆液不沉淀等效果。此外，还可以在水泥中加入一定数量的粉煤灰，这既利用了废料，又降低了注浆材料的成本。

(七) 浆液集中，流失较少

旋喷时，除一小部分浆液由于采用的喷射参数不适，沿着管壁冒出地面外，大部分浆液均聚集在喷射流的破坏范围内，很少出现在土中流窜到很远地方的现象。冒出地面的浆液经沉淀、去砂和析出清水过滤后，即可重复再用。

(八) 设备简单管理方便

旋喷的全套设备均为我国定型产品或专门设计制造。结构紧凑、体积小、机动性强，占地少，能在狭窄和低矮的现场施工。

施工管理简便，在旋喷过程中，通过对喷射的压力、吸浆量和冒浆情况的量测，即可间接地了解旋喷的效果和存在问题，以

便及时调整旋喷参数或改变工艺，保证固结质量。

（九）生产安全

旋喷压力一般均为20兆帕左右，似乎存在着很大的危险性。其实，高压设备上有安全阀或自动停机装置，当压力超过规定时，阀门便自动开启泄浆降压或自动停机，不会因堵孔升压造成爆炸事故。此外高压管路（ $\phi 19$ 毫米的三层钢丝裹绕高压胶管及钢铁的注浆管）的安全使用压力达40兆帕，爆破压力为120兆帕，一般是不易损坏的。只要按规定进行维护管理，可以说是安全的。即使万一在胶管或注浆管上产生裂口时，由于浆液为非压缩性物质，压力瞬时降至常压，不会发生爆炸性和碎片飞散。

（十）无公害

旋喷注浆使用震动钻或工程地质钻机钻孔，以电动机或内燃机驱动高压泵和在二重管或三重管旋喷时使用电动空压机。这些机具的振动很小，噪音也较低，不会对周围建筑物带来振动的影响和产生噪音公害，此外，注浆材料是以水泥为主，更不存在污水、毒化饮用水源的问题。因此，旋喷注浆法为振动小噪音低无污染符合现代城市建设和环境保护要求的一种施工方法。

二、固结体的基本性质

粘砂土、砂粘土、粉砂、细砂、中砂、粗砂、砾砂、砾石土、黄土、淤泥及杂填土经过旋喷注浆后，由松散的土固化为体积大、重量较轻、渗透系数小和坚硬持久的固结体，但抗折性较差，设计时应扬长避短合理使用。固结体的基本性质为：

（一）直径较大

旋喷固结体的直径大小与土的种类和密实程度有较密切的关系。单管旋喷注浆加固体直径一般为0.4~0.8米。三重管旋喷注浆加固体直径可达0.8~2.0米。二重管旋喷注浆加固体直径介于二者之间。

（二）固结体的形状

在均质土中，旋喷的圆柱体比较均称。在非均质或有裂隙土中，旋喷的圆柱体不均称，甚至在圆柱体旁长出翼片，如图1—

7所示。由于喷射流脉动和提升速度不均匀，固结体的外表很粗糙，三重管旋喷固结体受气流影响，在粘砂土中外表格外粗糙，如图1—8所示。

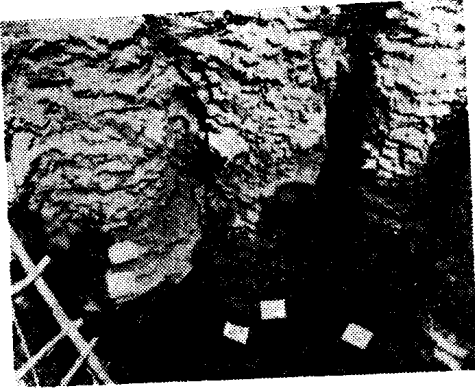


图1—7 旋喷圆柱体旁的翼片

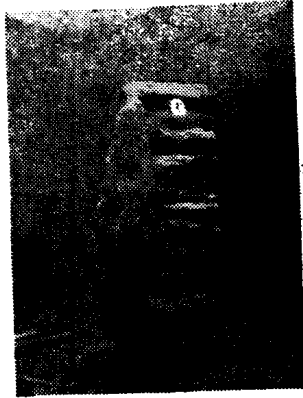


图1—8 三重管旋喷粘砂土固结体的外表

在深度大的土中，如果不采取其他的措施，旋喷圆柱固结体可能出现上粗下细似葫芦的形状，如图1—9所示。

(三) 重量轻

固结体内部的土粒较少并含有一定数量的气泡。因此，固结体的重量较轻，轻于或接近于原状土的容重。图1—10为固结体的横断面的结构图。固结体内部的土块大小及数量与提升速度有关，提升过快，被喷射流冲切下来的土块不能得到充分破碎便与浆液搅拌混合，必然内部的土块直径较大和数量较多，如图1—11所示。

(四) 透气透水性差

固结体内虽有一定的孔隙，但这些孔隙间并不贯通为封闭型，而且固结体有一层较密至的硬壳，其渗透系数达 10^{-6} 秒厘米以上，具有一定的防渗性能。

(五) 强度

固结体的无侧限抗压强度最高可达 $10\sim 20$ 兆帕，完全能满足一般构筑物对地基的沉陷和稳定的要求。但固结体的抗折强度较