

# 航空材料在外科植入物骨关节假体中的应用

## Application of Aviation Materials in Implants for Surgery—Joint Prosthesis

王彩梅, 周学玉, 孙 元, 贺靠团

(北京百慕航材高科技股份有限公司, 北京 100095)

WANG Cai-mei, ZHOU Xue-yu, SUN Yuan, HE Kao-tuan  
(Beijing Baimtec Material Co., Ltd., Beijing 100095, China)

**摘要:** 在现代材料科学与技术的发展历程中, 航空材料一直扮演着先导和基础作用。航空材料中的高温合金(主要是钴基合金)、钛合金、不锈钢、陶瓷、高耐磨非金属材料以其轻质、高强、高抗疲劳性、高耐热、高可靠性, 并且具有良好的生物相容性等优良性能, 已成为临床中较为理想的植入材料, 并被广泛应用于外科植入物方面。国内外人工关节得以迅猛发展很大程度上依赖于航空材料在外科植入物骨关节假体中的应用。本文旨在介绍目前航空材料在外科植入物骨关节假体应用方面的常用材料、性能及使用要求。

**关键词:** 生物相容性; 骨关节假体; 天然骨组织; 航空材料; 材料标准

**中图分类号:** TG135.3; TG146.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4381(2007)03-0058-04

**Abstract:** In the developing course of modern material science & technology, aviation materials always play the pilot and basic role. The aviation materials, such as superalloys (mainly cobalt-base alloys), titanium-base alloys, stainless steels, ceramics, highly abrasionproof nonmetals, have become excellent clinical materials because of their premium properties of light mass, high strength, fatigue resistance, heat resisting, high reliability and biocompatibility, have been widely applied in surgical implants. The rapid developing of artificial joints both, depends largely on the application of aviation materials. This article aims to present the properties and the application requirements of the aviation materials which are presently used in surgical implants.

**Key words:** biocompatibility; joint prosthesis; natural bone tissue; aviation material; material standard

外科植入物骨关节假体(俗称人工关节)是主要用于治疗畸形、疼痛或功能丧失等关节疾病的生物材料制品, 其临床应用广泛、效果显著。人工关节材料的选择直接关系到人工关节在人体内是否能真正解除患者的疼痛, 提供长期坚强、稳定的关节运动。按照正常人体骨骼需承受高达 8 倍于体重的压力、假体寿命期内长期处于低周疲劳状态及人体解剖和生物力学与组织环境的特异性分析, 应用于人工关节材料的选择须充分体现物理学、化学、生物力学及临床科学的紧密结合。

在现代材料科学与技术的发展历程中, 航空材料一直扮演着先导和基础作用。航空材料中的高温合金(主要是钴基合金)、钛合金、不锈钢、陶瓷、高耐磨非金属材料以其轻质、高强、高抗疲劳性、高耐热、高可靠性, 并且具有良好的生物相容性等优良性能, 已成为临床中较为理想的植入材料, 并被广泛应用于外科植入物方面, 国内外人工关节得以迅猛发展很大程度上依

赖于航空材料在外科植入物骨关节假体中的应用。

### 1 临床对骨关节假体材料的基本要求<sup>[5,8]</sup>

- (1) 无毒性, 不致癌, 不致畸, 不引起人体细胞的突变和组织细胞的反应;
- (2) 良好的组织相容性, 不发生致毒、溶血凝血、发热和过敏等现象;
- (3) 化学性质稳定, 可抗体液、血液及酶的作用;
- (4) 生物力学相容性 具有与天然组织相适应的物理机械特性;
- (5) 骨关节假体长期性能的稳定性与可靠性。

### 2 按照临床要求确定骨关节假体设计中材料选择的基本要点<sup>[2,8]</sup>

- (1) 首先是生物组织相容性, 这是涉及安全的重要

问题。没有一种生物材料具有绝对的生物相容性,生物相容性是指其在临床上的可以接受程度。

(2) 生物力学相容性关系到关节置换植入物是否能更为理想地将骨性组织的最大预期负载及其作用(力和力矩)相互传递,从而尽可能优化人体对植入物形状/刚度的动态反应,例如根据沃尔夫定律而导致骨缺失与骨重建现象的发生<sup>[5]</sup>。

材料的应力-应变特性如果能与骨相似,那是十分理想的。表 1<sup>[3]</sup> 列出了皮质骨的典型性能,皮质骨的力学性能也构成了被选作股骨柄的材料的性能的最低限制。

表 1 皮质骨的典型性能

Table 1 Typical properties of cortex bone

Compressional strength/ M Pa	131-224( logn itu dinal) 106-133( transverse)
Tensile strength/ MPa	80-172( lognitudinal) 51-56( transverse)
Shearing strength/ MPa	53-70
Modulus of elasticity/ GPa	10-20
Density/( g • cm <sup>-3</sup> )	1.8

(3) 足够的力学强度 即植入人体使用部位后对复杂受力(包括大约可达到 8 倍体重的动态载荷)的耐承性。如:股骨的载荷主要是弯曲和压力,因此,髋关节股骨柄置换材料的拉伸和剪切强度将是主要力学性能指标。

(4) 植入人体部位的低周循环力学环境所导致的对材料疲劳性能的要求。

(5) 为改善抗磨能力或隔离钝化作用,考虑是否需要(并可实现)可靠的表面改性技术。

(6) 材料较低的密度、耐磨损性能、X 光显影能力。

(7) 良好的工艺成型性,能满足各类冶金半成品加工及复杂骨科产品的制造。

(8) 适宜的经济性,即“性价比”高。

(9) 组合材料搭配的适宜性。原则是使植入体中不同金属的数目最小;不同金属间产生的电位差尽可能小。

(10) 同时,材料的选择必须符合现行的标准与法规。

3 骨关节假体中航空金属材料的应用

3.1 常用金属材料

经过长期国际范围内的研究与探讨,目前用于关节置换的基础金属材料常为医用不锈钢、钴基合金、钛

合金和钽及钽合金。

(1) 不锈钢

植入人体类不锈钢基本属于奥氏体不锈钢,其弹性模量较骨骼差异较大,价格便宜,一般应用于低端产品中。不锈钢由于植入人体后,铬氧化层的击穿电位与人体体内的静止电位接近,在腐蚀的过程中释放出的离子产物会造成局部或全身的影响,引起假体的松动,故而须进行表面处理,以抑制腐蚀过程的发生。

常用不锈钢牌号为 316, 316L, 317, 317L, 变形高氮不锈钢等,目前可采用的国际与国内的医用不锈钢标准有: GB/ 4234, GB4235, YY/T 0294. 1, ISO 5832- 1, ISO 5832- 9, ISO 7153- 1。

(2) 钴基合金<sup>[7]</sup>

钴基合金弹性模量较低,具有优良的耐磨性能,乃早期航空用高温合金,分铸造状态与变形状态两大类,目前是人工关节用主要材料之一,但其密度大,难于加工。另外虽然目前尚无足够资料可以证明钴或铬的毒性和致癌性,但难以否认少部分人群对钴有过敏反应,特别是 Brodner 等证实伴有慢性肾衰的患者接受钴铬钼合金假体治疗后,其血液中要比无肾衰患者的血液钴、铬浓度明显要高<sup>[1]</sup>,因此在临床上,如果伴有肾衰的病人需行人工全髋关节时,则要避免使用钴铬合金假体。

常用的钴基合金具体牌号有:铸造钴铬钼合金、变形钴铬钨镍合金、变形钴镍铬钼合金、变形和冷加工钴铬镍钼合金、变形钴镍铬钼钨铁合金、变形钴铬钼合金、变形钴镍铬钼合金。

目前可采用的钴基合金标准有: GB/ T 17100, ISO 5832- 4~ 8, ISO 5832- 12, YY 0117- 3。

(3) 钛合金及纯钛<sup>[6, 9]</sup>

钛合金及纯钛同样是重要的航空材料。钛合金因其良好的力学性、生物相容性和相对于钴基合金更接近骨骼的弹性模量、从而更有利于降低或消除植入物与人骨界面的应力屏蔽,钛合金比重小、强度高、无毒、生物相容性好和抗腐蚀、抗疲劳,加工性能优良,因而成为矫形外科、骨骼置换和关节修复等外科手术中最引人注目的金属材料,但钛合金耐磨性较差,与人体体液长期接触会产生黑水现象,钛合金作为关节面材料的应用效果并不令人满意,钛合金的磨损颗粒会应其金属源性骨溶解和内植物松动。因此,表面改性是改善钛合金的耐磨性能的必经之路。Ti-6Al-4V 合金是最引人注目的金属植入材料,但是存在耐磨性差和有毒元素 V 扩散的缺陷。

纯钛质软,易于成型,可制成金属丝和附着于关节假体表面、利于骨长入的纤维网及髋关节翻修术中的

金属网杯。需要注意的是超高分子量聚乙烯与纯钛不可以组合为关节面。

可采用的钛及钛基合金主要有纯钛、Ti6Al4V、Ti6Al7Nb 等, 可参考标准为: GB/T 13810, YY 0117-1~2, ISO 5832-2, ISO 5832-3, ISO 5832-11。

#### (4) 钽及钽合金<sup>[7,10]</sup>

在过去的 30 年中, 由航空材料钽珠烧结以及钽纤维弥散结合制造的多孔涂层, 已应用于骨科植入物的生物连接。近十年中又诞生了一种商业纯钽制成的、具有独特物理和力学特性的新型多孔生物材料, 与传统多孔涂层相比, 该材料拥有更高的空隙容积、更自由连通的孔、与骨更高的摩擦系数, 以及较低的成块硬化性, 此外, 该材料具有足够强度可以直接制造植入物, 而无需实心的金属基质作支承, 是新近发展起来当前不可忽视的具有广泛应用前景的生物医学材料。

目前应用现状: 国内植入物方面尚未投入应用; 国外已作为与超高分子量聚乙烯通过压膜法制造整体髌臼杯、整体胫骨假体、髌骨增强体、膝关节增强体、胫骨锥形体、脊柱植入体和保肢、定制假体等使用, 如 1999 年到 2002 年 Mayo Clinic 采用该技术进行了 261 例翻修, 2~4 年随访良好。

参考标准: ISO 13782: 1996 外科植入物 金属材料 外科植入物用非合金化钽。

### 3.2 金属关节面材料的基本要求及不同金属与合金的组合要求

由于金属材料在人体中可能会析出不同的金属离子, 不同的金属离子在人体体液的介质环境中易形成原电池效应, 电位腐蚀产物会对生物组织相容性造成不同程度的负面影响。为了尽量减少腐蚀, 同时考虑到金属或合金之间的连接方式, 经过长期的研究论证, 国际标准化组织对人工关节材料进行了资料性的规定 (ISO21534), 其中包含: 已认可的和不认可的植入物关节面的材料一览表; 已认可的和不认可的植入物关节面的材料一览表; 已认可的和不认可的植入物非关节接触面的金属组合一览表。

ISO 7206 列出了国外用于人工关节的主要材料。

### 3.3 改变制造工艺以提高金属材料基本性能

材料与工艺密不可分。材料常用制作工艺为: 铸造(普通铸造、精密铸造、定向结晶铸造)、锻造(自由锻造、普通锻造、精密锻造)、轧制(热轧、冷轧)、挤压等。

熔模铸造是最古老的金属处理技术, 它可以用来制造具有复杂外形的部件(如珍珠面股骨柄)。

当真空精密熔铸代替普通铸造工艺而被写入外科植入物的材料标准, 以模拟骨组织各向异性特征的定向结晶又随之提出挑战, 其特点是使金属材料在股骨

假体的纵向(即矢状及冠状面方向)抗拉及抗压能力得到加强, 从而一定程度上模拟股骨的张力骨小梁及压力骨小梁的生理功能, 但鉴于其工艺要求较难, 成本较高而未能广泛应用。

当强度的需求变得非常重要时, 精密锻造(简称精锻)可以使锻件具有完整流畅的金属流线, 从而使合金获得优良的疲劳特性, 表现出在力学和物理特性方面的理想值。

最近在直接成形锻造加工方面的进展, 已经允许通过精锻直接制造具有复杂外形的最终部件。由于该锻造工艺不需要或需要很少量的二期加工余量, 因而生产效率高, 制造成本大量下降, 但锻模是较为昂贵的投资, 只有产量达到一定规模时, 才具有良好的效益。但不可否认, 以组织致密、性能优良而著称的锻造假体最终会赢得绝大部分的高端市场。目前国外几乎所有钛合金股骨柄都是由模锻制成。

固定螺钉断裂常常困扰着外科植入物生产商, 运用普通加工材制作成的螺钉很难回避疲劳断裂的风险, 轧制及挤压成型工艺提供了改善螺钉抗拉性能的新途径。

## 4 骨关节假体中航空非金属材料的应用

在航空材料范畴类的非金属材料中, 可常用应用于人工关节的种类主要包含超高分子量聚乙烯、氧化铝基陶瓷、氧化锆基陶瓷及羟基磷灰石(HA), 以及目前悄然出现的 PEEK。

### 4.1 超高分子量聚乙烯(UHMWPE)<sup>[8]</sup>

维夫结构髌臼系统和膝关节中可旋转的半月板, 把结构性磨损量降到了最低, 但无菌性松动一直在提醒人们要密切注意造成关节假体磨损和破坏的主要原因——超高分子量聚乙烯磨屑。

目前, 由于低弹性材料(如生物陶瓷)远未成熟, 超高分子量聚乙烯(UHMWPE)仍在人工关节负重面上承担主要角色。UHMWPE 是一种综合性能十分优异的热塑性工程材料, 其耐磨性能突出, 价格相对适宜, 因此一直被视为人工关节的首选物质。

高结晶度超高分子量聚乙烯的应用显著降低了磨损量。国外已开始使用高结晶度的 UHMWPE, 并通过  $\gamma$  射线辐照提高了其制品的抗蠕变性和耐磨性。号称“永不磨损”的高交联(highly cross-linked)高分子聚乙烯也在有限的临床资料中证明了自己可以达到实验室抗磨损的优秀品质(在仿真 500 万次步态活动后, 高交联性材料平均每百万磨耗  $(1.73 \pm 0.26) \text{ mg}$ , 且没有出现因疲劳而产生的层状剥落), 但耐磨性的提高常

常是通过材料变质完成,代价是降低了材料本身的力学性能,如材质变软、无延展性等,这些都是需进一步探讨的问题。日本京都大学再生医学研究所助教富田直秀开发出超高分子量聚乙烯加维生素 E 的新材料,经机械性耐久实验证明没有出现任何疲劳损坏的情况,这的确为患者带来福音。

成型工艺对 UHMWPE 性能也有一定影响。有研究表明<sup>[4]</sup>,模注成形与机械加工而成的 UHMWPE 在磨耗行为与人工膝关节的运动学效能上有所不同。在四百万次摩擦后,以模注成形的 UHMWPE 因磨耗产生的重量损失较机械加工的 UHMWPE 少约 33%,而两者的磨屑、刮痕及表面小坑(pitting) 的型态并无明显之不同。在运动学上,初期两种型式并无明显之差异,但当磨耗行为开始后,其运动学特性便开始出现差异:在股骨组件位移方面,以模注成形的 UHMWPE,显示出每次摩擦的前后方向位移量随着摩擦次数增加而渐少,但以机械加工之 UHMWPE 则无此现象。运动学特性的改变,会影响植入物的磨润系统,如润滑状况、摩擦及接触面积等,也因此影响了植入物长期使用之效能。

目前使用的标准为 ISO 5834- 1~ 2, GB/T 19701- 1~ 2。

4.2 陶瓷材料

陶瓷材料从广义上讲仍属于航空材料类,近一年来,以其优秀的耐磨性与优良的生物相容性被人工关

节界人士关注。常用的陶瓷材料主要是氧化铝基陶瓷、氧化锆基陶瓷、羟基磷灰石(HA),一般应用于人工髋关节的活头、全髋假体的髋臼内衬和人工关节假体的表面涂层。陶瓷的脆性明显高于金属,因此在高能或高速负载事件中失效可能性更大。陶瓷具有相对低的拉伸强度和低的裂纹扩展阻力,因此对弯曲失效也比金属更为敏感。这些不利因素对陶瓷质量及成型精度提出了很高的要求,从而一定程度上限制了陶瓷产品的迅速推广,到目前为止,陶瓷并未成为人工关节的主流材料。新一代的纳米陶瓷活头正在应用研究之中。

国内的氧化铝基陶瓷、氧化锆基陶瓷产品基本都由国外进口,国内尚无陶瓷标准。可参照的国际标准为:ISO 6474 及 ISO13356。

羟基磷灰石(HA)的成分、化学结构与人体骨十分接近,是近十几年来人工关节表面涂层材料的主要进展之一,已成为生物固定型人工关节表面涂层材料的重要选择。最近的研究也发现,HA 涂层方法仍然存在的问题有:(1)理想的涂层厚度、密度、纯度及晶体率还不明确;(2)HA 涂层或界面可能发生疲劳碎裂;(3)HA 涂层可能随时间而吸收、降解;(4)涂层与金属基体之间的结合强度问题。这些还都有待于今后投入更多的研究。

可参照的标准为:YY 0305, ISO 13779- 1, ISO 13779- 2。表 2 几种关节材料磨损对比表。

表 2 几种关节材料磨损对比表

Table 2 Comparison of some articulating surfaces materials

Metal vs UHMWPE	Metal vs highly cross-linked polyethylene	Metal vs metal	Ceramic materials vs highly cross-linked polyethylene	Ceramic materials vs ceramic materials
200 micron/ a	20 micron/ a	< 10 micron/ a	< 10 micron/ a	< 1 micron/ a

5 骨关节材料的研究方向

配合先进的合金加工技术及塑料精密加工技术去寻找其他生物耐磨性材料的工作一直在进行,航空材料突飞猛进的发展为人工关节提供了更为广阔选择空间。据悉,有些研究人员尝试用碳纤维增强的聚醚醚酮(CF-PEEK)来替代传统的超高分子量聚乙烯。CF-PEEK 不仅耐磨性强,且生物相容性好,譬如其体积磨损率只有超高分子量聚乙烯的 1/2,不过目前这一技术尚未投入实际应用。

由航空复合材料制造的人工关节假体正处在临床研究阶段,需解决的主要问题包括材料的各向异性、降解、磨损等。

6 材料标准选择具有战略意义

当然,为实现产品的名牌战略,同时为将来产品的出口奠定基础,企业制定的材料标准最好不囿于国家标准、行业标准,而要积极采用国际标准和国内先进标准,并制订出一套适合可行的高于以上“双采”标准的企业内控标准,使产品具有挑战国际市场的能力,从而可以轻松应对出口国的强制性产品认证制度,如欧洲的 CE、美国的 FDA。

航空材料已成为生物医学材料重要的来源之一,它为医学、药理学及生物学等学科的发展提供了丰富的物质基础。优秀的航空材料将对促进人类文明的发展作出巨大贡献。

(下转第 66 页)

- 3622.

- [11] GARRN I, REETZ C, BRANDES N, et al. Clot-forming: the use of proteins as binders for producing ceramic foams[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2004, 24: 579- 587.
- [12] WILHELM M, SOLTMANN C, KOCH D, et al. Ceramers-functional materials for adsorption techniques[J]. Journal of the European Ceramic Society, 2005, 25: 271- 276.
- [13] KLEEBE H J, SUTTOR D, MULLER H, et al. Decomposition-crystallization of polymer-derived Si- C- N ceramics [J]. J Am Ceram Soc, 1998, 81(11): 2971- 2977.
- [14] SCHMIDT H, KOCH D, GRATHWOHL G. Micro-/macro-porous ceramics from preceramic precursors [J]. J Am Ceram Soc, 2001, 84(10): 2252- 2255.
- [15] COLOMBO P, BERNARDO E. Macro- and micro-cellular porous ceramics from preceramic polymers[J]. Composites Science and Technology, 2003, 63: 2353- 2359.
- [16] COLOMBO P, HELLMANN J R, SHELLEMAN D L. Mechanical properties of silicon oxycarbide ceramic foams[J]. J Am Ceram Soc, 2001, 84(10): 2245- 2251.
- [17] COLOMBO P, HELLMANN J R, SHELLEMAN D L. Thermal shock behavior of silicon oxycarbide foams[J]. J Am Ceram Soc, 2002, 85(9): 2306- 2312.
- [18] COLOMBO P, BERNARDO E, BIASETTO L. Novel microcellular ceramics from a silicone resin[J]. J Am Ceram Soc, 2004, 87(1): 152- 154.
- [19] COLOMBO P, ROISMAN T G, SCHEFFLER M, et al. Conductive ceramic foams from preceramic polymers[J]. J Am Ceram Soc, 2001, 84(10): 2265- 2268.
- [20] KIM Y W, KIM S H, WANG C M, et al. Fabrication of microcellular ceramics using gaseous dioxide[J]. J Am Ceram Soc, 2003, 86(12): 2231- 2233.
- [21] KIM Y W, KIM S H, XU X, et al. Fabrication of porous preceramic polymers using carbon dioxide[J]. Journal of Materials

Science Letters, 2002, 21: 1667- 1669.

- [22] KIM Y W, PARK C B. Processing of microcellular preceramics using carbon dioxide[J]. Composites Science and Technology, 2003, 63: 2371- 2377.
- [23] ZESCHKY J, HOFNER T, ARNOLD C, et al. Polysilsesquioxane derived ceramic foams with gradient porosity[J]. Acta Materialia, 2005, 53: 927- 937.
- [24] LOFTON C M, MILZ C B, HUANG H Y, et al. Bicontinuous porosity in ceramics utilizing polymer spinodal phase separation [J]. Journal of the European Ceramic Society, 2005, 25: 883- 889.
- [25] COLOMBO P, MODESTI M. Silicon oxycarbide foams from a silicone preceramic polymer and polyurethane[J]. Journal of Sol-Gel Science and Technology, 1999, 14: 103- 111.
- [26] COLOMBO P, GRIFFONI M. Ceramic foams from a preceramic polymer and polyurethanes: preparation and morphological investigations [J]. Journal of Sol-gel Science and Technology, 1998, 13: 195- 199.
- [27] NANGREJO M R, EDIRISINGHE M J. Porosity and strength of silicon carbide foams prepared using preceramic polymers[J]. Journal of Porous Materials, 2002, 9: 131- 140.
- [28] DISMUKES J P, JOHNSON J W, BRADLEY J S, et al. Chemical synthesis of microporous nonoxide ceramics from polysilazanes[J]. Chem Mater, 1997, 9: 699- 706.

基金项目: 武器装备预研基金资助项目(51488030104BQ0101)

收稿日期: 2006-02-16; 修订日期: 2006-09-11

作者简介: 马彦(1982-), 男, 硕士研究生, 主要从事先驱体转化法制备多孔陶瓷的研究工作, 联系地址: 湖南长沙国防科技大学一院重点实验室(410073)。

(上接第 61 页)

## 参考文献

- [1] HIRSCHHORN J S, REYNOLDS J T. Powder metallurgy fabrication of cobalt alloy surgical implant materials[A]. Edited by Korostoff E. Research in Dental and Medical Materials[C]. New York: Plenum Press, 1969.
- [2] BRUNSKI J B. The Influence of Force, Motion, and Related Quantities on the Response of Bone to Implants, in Non-Cemented Total Hip Arthroplasty[M]. New York: Raven Press Ltd, 1988. 721.
- [3] COWIN S C. Bone poroelasticity[J]. J Biomechanics, 1999, 32: 218- 238.
- [4] BENSON, L C, DESJARDINS, J D and LABERGE, M. Effects of in vitro wear of machined and molded UHMWPE tibial insert on TKR kinematics[J]. Journal of Biomedical Materials Research, 2001, 58: 496- 504.
- [5] 吕厚山, 卢士璧, 戴尅戎, 等. 人工关节外科学[M]. 北京: 科学出

版社, 1998. 8- 55.

- [6] 中国航空材料手册编委会. 中国航空材料手册第 4 卷, 钛合金 铜合金[M]. 第 2 版. 北京: 中国标准出版社, 2001. 104- 131.
- [7] 中国航空材料手册编委会. 中国航空材料手册第 2 卷, 高温变形合金、铸造高温合金[M]. 第 2 版. 北京: 中国标准出版社, 2002. 510- 526.
- [8] 罗先正, 丘贵兴. 人工髋关节学[M]. 北京: 中国协和医科大学出版社, 2003.
- [9] 曹春晓. 钛合金的特性及其在外科植入物领域的应用[R]. 国家医疗器械协会, 外科植入物委员会学术报告, 2004.
- [10] 王毅. 结构性多孔钽生物材料用于成人重建术的临床论证[J]. 中华骨科杂志, 2005, 24(9): 147- 152.

收稿日期: 2005-11-21; 修订日期: 2006-05-09

作者简介: 王彩梅(1973-), 在读博士, 从事外科植入物的研究, 联系地址: 北京 81 信箱 77 分箱(100095)。