

# 掺稀降黏技术研究及其在渤海 Q 油田应用评价

王大威<sup>1,2\*</sup>, 靖波<sup>1,2</sup>, 梁守成<sup>1,2</sup>, 张世仑<sup>1,2</sup>, 张健<sup>1,2</sup>, 谭业邦<sup>3</sup>  
(1. 海洋石油高效开发国家重点实验室, 北京 100027;  
2. 中海油研究总院有限责任公司技术研发中心, 北京 100027;  
3. 山东大学化学与化工学院, 山东 济南 250100)

**摘要:**针对渤海 Q 油田原油黏度大、采出程度低的问题,对稠油掺稀油技术在渤海 Q 油田可行性进行了研究。分析了稠油稀油的基本性质,考察了稠油掺稀比例、含水率、温度、剪切速率对掺稀降黏的影响。综合考虑稀油成本等因素,选择适当的掺油方式和比例,以探索利用稀油降低稠油黏度、提高采收率的可行性。结果显示,随着温度升高,掺稀降黏体系的黏度降低;含水率增高,体系黏度增加。确定稠油掺稀比例为 8:2,同时发现在油田开发初期含水较低情况及稀油低速注入条件下有较好采出效果。Q 油田进行稠油掺稀油开采,高部位稠油和深部位稀油储量比接近 8:2,与实验结论 8:2 的掺油比接近,故从储量潜力角度评价,该技术在 Q 油田初期低含水开发阶段具有应用前景。

**关键词:**黏度;掺稀油;降黏;机理;海上油田

中图分类号:O613.72

文献标志码:A

文章编号:0253-4320(2019)11-0175-05

DOI:10.16606/j.cnki.issn.0253-4320.2019.11.038

## Study and application evaluation of blending lean oil technology in Bohai Q oilfield

WANG Da-wei<sup>1,2\*</sup>, JING bo<sup>1,2</sup>, LIANG Shou-cheng<sup>1,2</sup>, ZHANG Shi-lun<sup>1,2</sup>,  
ZHANG Jian<sup>1,2</sup>, TAN Ye-bang<sup>3</sup>

(1.State Key Laboratory of Offshore Oil Exploitation, Beijing 100027, China;

2.Tech R&D Center, CNOOC Research Institute Co., Ltd., Beijing 100027, China;

3.School of Chemistry and Chemical Engineering, Shandong University, Jinan 250100, China)

**Abstract:** There exist problems in Bohai Q oilfield, such as higher crude oil viscosity and lower recovery rate. The feasibility to employ the blending lean oil into heavy oil technology in Q oilfield is studied. Firstly, the basic properties of heavy oil and lean oil from Q oilfield are determined. Then the viscosity reduction experiments by the blending proportion, moisture content, temperature and shear rate are carried out. By taking into account the cost of lean oil and the efficiency of viscosity reduction, the appropriate blending manner and proportion is selected to explore the feasibility of using lean oil to reduce the viscosity of heavy oil and enhancing oil recovery. The results show that the viscosity of heavy oil system blended with lean oil decreases with the increasing temperature or moisture content. The appropriate proportion of heavy oil to lean oil is determined as 8:2. Low injection rate of lean oil can enhance oil recovery in the early stages of oilfield development when the moisture content in oil remains low. Actually, the proportion of heavy oil and lean oil in Q oilfield is exactly 8:2, which closes to experiment results. Therefore, judging from the perspective of potential reserves, the blending technology has application value in early development stage of Q oilfield.

**Key words:** viscosity; blending lean oil; viscosity reduction; mechanism; offshore oilfield

目前我国探明石油储量中,稠油资源非常丰富,开发难度较大的重油、稠油接近 40 亿 t,主要集中在渤海湾盆地,其中渤海油田重油、稠油在中海原油中所占的比例达到 80% 以上<sup>[1]</sup>。稠油中轻质馏分很少,含硫量低,胶质沥青含量很多,而且随着胶质沥青含量增大,原油相对密度及同温度下的黏度随之

增高,因此胶质沥青质的含量是影响稠油开采的主要制约因素<sup>[2]</sup>。胶质和沥青质是稠油中的重质部分,由于结构复杂,同时受温度影响小,因此重质稠油常规方法开发一直是难点<sup>[2-3]</sup>。

目前常用的稠油降黏手段有乳化降黏法、加热法、掺稀油法、稠油改质降黏法等<sup>[4]</sup>。这些方法本

收稿日期:2019-02-28;修回日期:2019-08-28

基金项目:国家重大专项项目(2011ZX05024-004)

作者简介:王大威(1978-),男,工程师,研究方向为化学驱、微生物采油等三次采油技术,通讯联系人,010-84526275, wangdw3@cnooc.com.cn。

身都存在一些问题,例如乳化降黏造成产出液处理困难,增大平台处理难度;加热降黏能耗高,经济损失大,同时存在安全风险;改质降黏条件苛刻,适用范围窄<sup>[1]</sup>。掺稀降黏采油工艺是通过油管或油套环空向油井底部注入稀油,使稀油和地层产出的稠油充分混合,从而降低稠油黏度、稠油液柱压力及稠油流动阻力,增大井底生产压差,使油井恢复自喷或实现机械采油的条件<sup>[5-6]</sup>。相比其他降黏方法,掺稀油技术不仅能降低稠油黏度,而且能降低稠油密度,增大油水相对密度差,更有利于脱水<sup>[7]</sup>,该法操作简单、条件温和,尤其适合对沥青质含量高导致高黏的稠油进行降黏,当稀油充足时,该法具有更好的经济性和适应性。

渤海 Q 油田地下原油黏度较大,开发类似高黏度的海上稠油油田仍然比较困难,但可喜的是目前勘探到地下存在浅层 I 油组稠油(340 mPa·s)和深层 II 油组稀油(36.5 mPa·s),稀油源方便近捷,故本文中根据现场实际特点采用掺稀油降黏方法对 Q 油田稠油进行降黏实验研究。首先分析了稠油稀油的基本性质,然后考察了稠油掺稀比例、含水率、温度、剪切速率对掺稀降黏的影响。综合考虑稀油成本等因素,选择适当的掺油方式和比例,以探索利用稀油降低稠油黏度、提高采收率的可行性。

## 1 实验部分

### 1.1 原料与试剂

(1)实验用水:Q 油田水源井水和地层水。

(2)实验温度:地层温度 47℃。

(3)实验用油:Q 油田 I 油组稠油,II 油组稀油。

### 1.2 实验方法

(1)原油密度、闪点、凝固点、酸值、含蜡量、四组分、残碳量、含水量测定

密度测定采用 GB/T 1884—2000《原油和液体石油产品密度实验室测定法(密度计法)》;闪点测定采用 GB/T 21789—2008《石油产品和其他液体闪点的测定,阿贝尔闭口杯法》;凝固点测定采用 SY/T 0541—94《原油凝点测定法》;酸值采用 GB/T 18609—2001《原油酸值的测定电位滴定法》;含蜡量测定采用中国石油天然气行业 SY/T 7550—2004 标准;原油四组分测定采用中国石油化工行业标准 SH/T 0226.92《氧化铝吸附法》;原油残碳测定采用 GB/T 18610—2001 康氏法;含水率测定采用 GB/T 8929—2006《原油水含量测定法(蒸馏法)》。

### (2)原油碳数分析

分别采用 Shimadzu GC2014C 气相色谱仪(仪器配套色谱工作站,氢焰离子化检测器 FID)和 Varian 3400 气相色谱仪(N2000 色谱工作站,氢焰离子化检测器 FID)对原油碳数进行分析。

### (3)原油各组分的结构分析

采用德国 Bruker 公司 Tensor 27 型傅里叶变换红外光谱仪定性分析样品的分子组成和结构。

### (4)原油黏度测定方法

将混合油样加热到一定的温度,用搅拌机以一定的转速搅拌 5 min,待油样充分混合均匀以后,方可进行黏度的测量。

### (5)流变实验

配置稀油与稠油为 2:8 的混合体系,调节不同含水量,用 RS6000 控制应力流变仪(德国 Haake 公司生产)测试,测量温度为(50.0±0.1)℃,采用 C20/1°锥板传感器(Ti,直径 17.5 mm,锥角 1°)测量体系黏度随温度的变化。

## 2 结果与讨论

### 2.1 原油性质分析

原油是各种烃类(饱和烃、芳烃)与非烃(胶质、沥青质)的混合物,各种组分相对含量不同决定了原油不同的基本性质<sup>[1]</sup>。

#### 2.1.1 原油基本物化性质测定

表 1 是 Q 油田提供原油物化参数的测定结果。从中可看出稠油的密度为 0.967 g/cm<sup>3</sup>,密度较大为特稠油类别,而提供稀油的密度为 0.925 g/cm<sup>3</sup>,属于普通稠油类别。从闪点、凝固点、残碳率可反映稠油和稀油的区别,稠油中高碳结构的含量较高。而从酸值可以看出稠油中石油酸性物比稀油的多,在石油开采中需要考虑。稠油中含水量较高,含量 11.59%,而稀油中含水率很低,仅 0.15%。稠油和稀油中饱和分含量都较高,分别为 42.72% 和 67.87%,芳香分和含蜡量相近,含沥青质都不高,但

表 1 Q 油田原油物化参数

项目	稠油	稀油	项目	稠油	稀油
原油密度(20℃)/(g·cm <sup>-3</sup> )	0.967	0.925	沥青质/%	2.18	0.5
闪点/℃	150.1	90.2	饱和分/%	42.72	67.87
凝固点/℃	17.0	12.2	芳香分/%	23.71	21.16
酸值/(mg·g <sup>-1</sup> )	3.43	1.21	胶质/%	17.64	8.65
残碳/%	7.58	4.06	含蜡量/%	3.21	2.32
水分/%	11.59	0.15			

在稠油中胶质含量较高,达到 17.64%,这是影响稠油黏度的主要原因。

### 2.1.2 原油中各组分的红外光谱及核磁共振测定

图 1 是稠油和稀油中各组分的红外光谱测定结果,沥青质和胶质组分在  $1730\text{ cm}^{-1}$  和  $1630\text{ cm}^{-1}$  处存在酯基和酰胺上羰基的伸展振动吸收峰,在  $3481\sim 3200\text{ cm}^{-1}$  出现 N—H 和 O—H 及吸附水的吸收峰,而饱和分不存在这些特征峰,稠油中的重组分胶质和沥青质的峰面积明显大于稀油,进一步证明稠油的黏度大主要由胶质和沥青质引起。

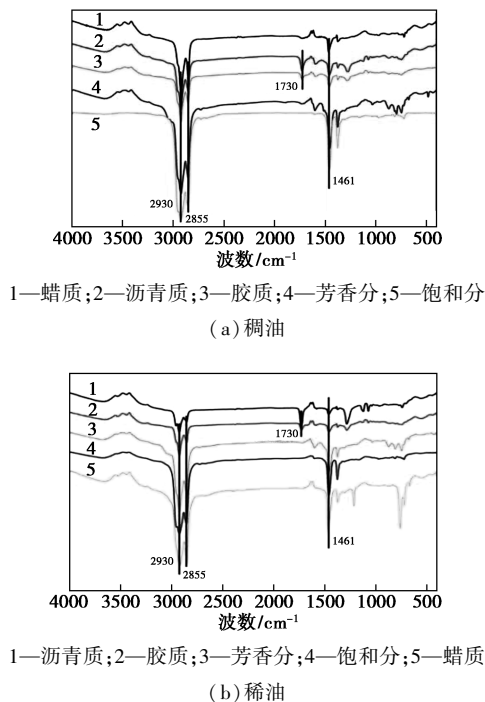


图 1 稠油和稀油中各组分的红外光谱

图 2 是稠油和稀油中各组分的核磁共振图。从图可以看出,2 种油的饱和分的峰都在  $2.0\times 10^{-6}$  以下,反映其均为饱和烃;同时,稀油饱和分中  $1.0$  以下峰(主要为端甲基)的总积分的相对比例比稠油的大一些,这说明稀油饱和分的平均相对分子质量比稠油的要小一些。在稀油与稠油的芳香分中,  $7.0\times 10^{-6}\sim 7.5\times 10^{-6}$  的低场处有明显的峰,但并不复杂,表明其含有的主要是单环芳烃结构。在稀油与稠油的胶质和沥青质中,在  $2.5\times 10^{-6}\sim 4.5\times 10^{-6}$  处均有峰出现,表明其含有相当的杂原子,推测可能为与羧基、酯基、酰胺基相连碳原子上的氢。  $7.5\times 10^{-6}$  以后的低场处也有明显的峰,但结构明显要比芳香分的复杂,并且稠油的要比稀油的复杂得多,这表明稠油中胶质与沥青质的稠环结构更为复杂。胶质与沥青质中的稠环可以产生强的  $\pi-\pi$  堆积作用,并且

其上的杂原子可以产生氢键相互作用,应是稠油黏度的主要决定因素。

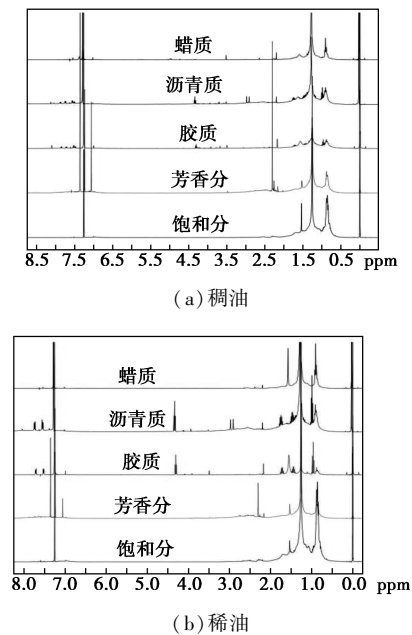


图 2 稠油和稀油中各组分的核磁共振谱

### 2.1.3 碳数分析测定结果

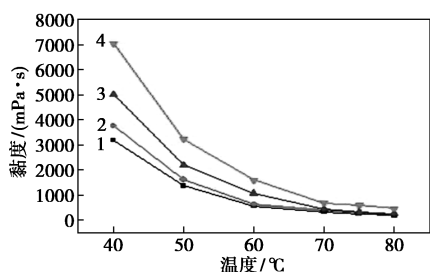
选用 Varian 3400 气相色谱仪、N2000 色谱工作站、氢焰离子化检测器 FID 分析了稠油和稀油的碳数分布。从表 2 中可以看出,稠油中含碳数 11 以下的组分含量比较少,仅 0.55%,主要分布在  $C_{11}\sim C_{35}$ ,且在  $C_{30}\sim C_{35}$  区间含量最高,这是稠油黏度大的原因;同时可以看出,稀油含碳数 25 以上的组分含量比较低,仅 3% 左右,主要分布在  $C_{20}$  以下,且在  $C_{11}\sim C_{15}$  区间含量最高。2 种原油碳数分布存在交叉性和互补性,且 2 种原油含饱和成分和芳香组分较高,芳烃含量高对超稠油降黏效果显著,这与超稠油中胶体溶液的形成有关,结合沥青胶体结构模型可知,在可溶质中对沥青质的胶溶性起主导作用的是芳香族化合物及其含量。芳香族化合物最易被沥青质吸附,对沥青质具有很好的胶溶能力。当可溶质中芳香烃含量足够高时,沥青质胶核就能很好地被胶溶,故芳烃的存在对沥青胶体结构的稳定具有积极的作用<sup>[8]</sup>。根据相似相溶原则说明 2 种原油相容性较好,对掺稀降黏十分有利。

表 2 稠油和稀油中不同碳数含量分布 %

碳数	稠油	稀油	碳数	稠油	稀油
$C_{11}$ 以下	0.55	25.35	$C_{25}\sim C_{30}$	14.33	3.00
$C_{11}\sim C_{15}$	22.05	42.26	$C_{30}\sim C_{35}$	26.62	3.00
$C_{15}\sim C_{20}$	18.14	25.89	$C_{35}$ 以上	4.03	3.00
$C_{20}\sim C_{25}$	14.26	4.25			

## 2.2 不同含水率稠油黏温关系

在分析稠油稀油物化性质和碳数分析基础上,进一步对稠油在不同含水率下的黏温关系进行测定。图 3 是不同含水率下稠油黏度随温度变化的结果,分别测定了含水率 10%、20%、25%、40% 的稠油(未掺稀油)、温度在 40~80℃ 的黏度。由图可知,同样的温度下,稠油含水率越高,黏度越大;样品黏度随温度升高而降低,超过 70℃ 后黏度下降趋势变缓,70℃ 为黏度随温度变化的拐点。当含水率一定时,稠油的黏度随温度呈指数型减小,并且各黏温曲线都存在一个拐点。温度低于此拐点时,油样黏度随温度的升高迅速减小;当温度高于此拐点之后,黏度随温度变化较为平缓。稠油的拐点温度范围大概为 65~75℃。



1—11.59%; 2—20.43%; 3—26.33%; 4—38.11%

图 3 含水率对稠油黏度的影响

测定了温度为 50℃ 时不同含水率稠油的黏度,结果见图 4。从图可以看出含水率较低时,稠油的表现黏度随着含水率的增加而缓慢上升;含水率较高时,乳状液的表现黏度随着含水率的增大而急剧增大;当含水率在 60% 附近时,稠油出现出水现象,表明油样黏度发生反相的转相点,说明在高含水开发阶段,稠油掺稀降黏不适合现场应用。

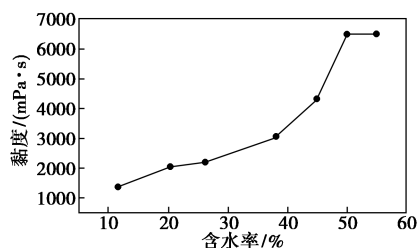


图 4 稠油黏度与含水率的关系(50℃)

## 2.3 不同掺稀比例稠油在不同含水率的黏温特性实验

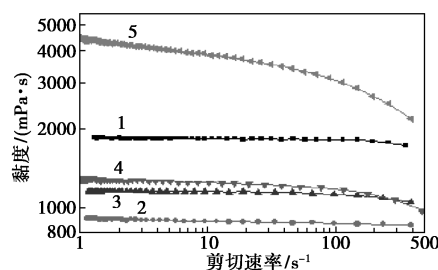
### 2.3.1 不同含水率、温度对稠油掺稀降黏的影响

随着温度升高,体系黏度下降较快;当掺稀比例增加,稠油黏度降低,表明稀油的存在能够影响稠油的黏度,但随着含水量增加,稠油体系中的胶质和

沥青质的乳化,稠油形成油包水乳液体系,导致溶液的黏度增加。在含水率增加到 35.68%,稠油的黏度较高,即使掺稀比例为 4:6,稠油的黏度达到 407.9 mPa·s。在含水率达到 49.2%,稠油的乳化严重,黏度大幅增加,在掺稀比例为 4:6 时稠油的黏度达到 1759.62 mPa·s,且掺稀油量越小,黏度越大。结果显示在含水率 10%,混合温度 75℃,掺稀比 2:8 时,混合油黏度可降低至 125 mPa·s,和掺稀比 3:7 降黏幅度相比差别不大,考虑到经济因素,故将稠油掺稀比定为 2:8,结果亦显示,如不提高注入稀油温度,提高掺稀比例对稠油降黏帮助不大;同时在高含水条件下不适合掺稀降黏技术的应用,而应采用化学乳化降黏技术。

### 2.3.2 剪切速率对稠油掺稀降黏的影响

采用 RS6000 哈克流变仪测定 50℃ 不同含水率下稀油与稠油比例为 2:8 情况下稠油的黏度随剪切速率变化的曲线,如图 5 所示。从图中可以看出,未掺稀油稠油随着剪切速率的增大,体系的黏度变化不大,在高剪切下黏度略有降低,表明稠油体系基本为牛顿流体。当掺稀为 2:8 时,在含水量为 35.68% 以下,同一剪切速率下掺稀体系的黏度比稠油的黏度低较多,有明显的降黏效果。但随着剪切速率增大,黏度变化不大,在高剪切下黏度有降低。随着含水率增加,黏度增加。但在含水率为 49.2% 时,随着剪切速率增加,黏度下降明显,表现出假塑性流体特征,这表明体系中胶质和沥青质乳化严重。



1—原油; 2—含水 9.99%; 3—含水 29.05%; 4—含水 35.68%; 5—含水 49.20%

图 5 稠油及不同含水率的掺稀油样 [V(稀油):V(稠油)=2:8] 在 50℃ 下的黏度与剪切速率的关系

## 2.4 稠油掺稀油应用潜力评价

根据稀油掺入量和混合油产出量,评价该技术在 Q 油田应用的经济性。

### 2.4.1 适用储量潜力评价

Q 油田进行掺稀油开采,浅层稠油和深层稀油储量比接近 8:2,与之前实验结论稠油与稀油 8:2 的

掺油比接近,且稀油源近捷可靠,掺油设备简单、运行费用低,但对稠油稀油黏度要求较高,要求稠油稀油黏度不能过大,以保证混合油的流动性,因此可考虑在Q油田开展稠油掺稀油降黏技术实施。

#### 2.4.2 工艺潜力评价

Q油田开发过程中,必须考虑原油黏度对不同采收方式举升效果的影响,由于螺杆泵在生产过程中受原油黏度影响较小,只有电潜泵受原油黏度影响较大,同时该项目工艺设计使用主要为电潜泵,因此针对目标油田,油井掺油生产时,必须满足电潜泵生产时举升工艺的要求,为保证电潜泵井下正常作业,入泵原油黏度不应大于500 mPa·s。稀油由螺杆泵输送,需要量经仪表计量后到油井井口,通过单向阀从油套管环形空间进入油井越过封隔器,到井底与稠油混合后采出。

### 3 结论

(1)对稠油、稀油的理化性质进行分析,显示2种原油碳数分布存在交叉,且2种原油含饱和成分和芳香组分较高,根据相似相溶原则说明2种原油相容性好,对掺稀降黏十分有利,掺稀能降低稠油中胶质、沥青质的浓度,从而减弱稠油中沥青质胶束间相互作用,从而达到降低稠油黏度,改善流动性的目的。

(2)对稠油掺稀油实验进行研究,研究了稠油掺稀比例及含水率对掺稀降黏的影响,考察了温度和剪切速率对掺稀降黏的影响。根据结果将稠油掺稀比定为8:2,同时须提高注入稀油的温度,保证混合原油的温度在65~70℃,可有效降低稠油黏度,增

加流动性。

(3)随着剪切速率增加,混合体系的黏度增加,但不明显,基本为牛顿型流体,但在高含水达到49.2%,掺稀体系黏度增大,甚至高于稠油体系,流体类型为假塑性流体,因此高含水条件下不适合掺稀降黏技术的应用。

(4)Q油田进行掺稀油开采,稀油源储量丰富,近捷可靠,掺油设备简单、运行费用低,故从技术角度讲,稠油掺稀油井筒降黏工艺在目标油田具有广泛的应用前景。

#### 参考文献

- [1] 柴静,彭亚娟,洪金庆,等.采用掺稀降粘法探索新疆超稠油的应用[J].石油化工应用,2009,28(1):41-45.
- [2] Aitken C M, Jones D M, Larter S R. Anaerobic hydrocarbon biodegradation in deep subsurface oil reservoirs[J]. Nature, 2004, 431: 291-294.
- [3] Larter S R, Huang H, Adams J, et al. The controls on the composition of biodegraded oils in the deep subsurface. Part II: Geological controls on subsurface biodegradation fluxes and constraints on reservoir-fluid property prediction[J]. American Association of Petroleum Geologists Bulletin, 2006, 90(6): 921-938.
- [4] 尉小明,刘喜林,王卫东,等.稠油降粘方法概述[J].精细石油化工,2002,(5):45-48.
- [5] 满江红,陈雷.掺稀降粘工艺在塔河油田试油开采中的应用[J].石油钻探技术,2002,30(4):55-56.
- [6] 任瑛,梁金国,杨双虎,等.稠油与高凝油热力开采问题的理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2001:8-10.
- [7] 王建成,傅绍斌.稠油集输降粘方法概述[J].安徽化工,2005,(2):15-18.
- [8] 裴海华,张贵才,葛际江,等.塔河油田超稠油混合掺稀降黏实验研究[J].特种油气藏,2011,18(4):111-120. ■

### 赢创推出全球首款用于植入式医疗器械的生物可吸收 PLA-PEG 共聚物商用产品系列

赢创工业集团日前推出全球首款用于植入式医疗器械的生物可吸收 PLA-PEG 共聚物产品系列。该创新系列可帮助医疗器械客户进一步提升植入产品的安全性与生物相容性,并获得更出色的产品性能。此举还将帮助赢创增强其健康与护理增长引擎。

RESOMER® PLA-PEG 共聚物将聚丙交酯(PLA)聚合物的疏水性与聚乙二醇(PEG)的亲水性结合在一起。作为三嵌段共聚物,该产品系列具备标准 RESOMER® 聚合物的机械强度,但降解速度最高可提速 6 倍。高强度和快速降解的独特组合使医疗器械公司能够开发出适用于伤口闭合、儿科等应用领域的新型生物可吸收植入物,更好助力患者的自然康复过程。

目前标准 RESOMER® 产品目录中已包含 4 种降解速率为 6-12 个月或更短时间的 RESOMER® PLA-PEG 牌号,其中两种牌号已上市,另两种将在未来几个月内推出。此外,RESOMER® Select 品牌下还提供一系列定制产品。和其他 RESOMER® 产品一样,RESOMER® PLA-PEG 共聚物易于加工,与所有相关技术兼容,并具有长期稳定性。

作为全球领先的特种化学品公司,赢创为全球 1 000 多家制药、营养保健和医疗器械客户提供服务。旗下的 RESOMER® 生物可吸收聚合物、Endexo® 表面改性技术和应用技术服务组合是健康与护理增长引擎的核心组成要素,有助于推动赢创实现盈利、均衡的增长。(王哲)