ICS 87.040
CCS T47

团　体　标　准

T/BYXT 165-2026

稀土改性镁合金技术要求

Technical requirements for rare earth modified magnesium alloys

（征求意见稿）

2026-XX-XX 发布　　2026-XX-XX 实施

包头市白云鄂博矿区市场监督管理局
包头市白云鄂博矿区工信和科技局　发布
包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会

目 次

前　言

本文件按照GB/T 1.1－2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由包头市稀谷科技有限公司提出。

本文件由包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会归口。

本文件起草单位：包头市检验检测中心、呼和浩特海关技术中心、包头市白云鄂博矿区市场监督管理局、包头市白云鄂博矿区工信和科技局、包头市稀谷科技有限公司、内蒙古圣飞运营科技有限公司、北京飞创世桥文化科技有限公司、北京炎黄医养科技有限公司、北京稀造科技有限公司、北京稀谷科技有限公司、三河悟筛健康科技有限公司、内蒙古稀都酒店管理有限公司、内蒙古沸石山生物科技集团有限责任公司、内蒙古润蒙稀超矿科技有限公司、乌拉特前旗石山矿业有限公司、内蒙古蒙稀超分子材料科技有限公司、内蒙古白庙子鸿雁农牧业生态科技发展有限公司、内蒙古稀都科技发展有限公司、吉安稀谷科技产业有限公司、包头市白云鄂博矿区稀土新材料和产业应用研究院、包头市白云鄂博矿区稀土产业标准化协会。

本文件主要起草人为：侯权恒、李信福、焦智斌、侯照东、陈媛媛、段羚、王霄鹏、吴天相、李波、延涵、张晓毅、李永滔、白夜明、王丽、赵艳霞、侯倩文、郝广诚、李荣腾、周泉书、任渊、尹志军、王振洲、白瑞、王鸿宇、石晓丽、莘俊莲、张沛宇、崔晓宇、刘雨、冶建荣、张丽华、湛军平、王强、那剑、袁玉静、张文权、韩乐、武小丽、敖日格乐、李明、王乐、池慧。

本文件为首次发布。

稀土改性镁合金技术要求

1 范围

本文件规定了稀土改性镁合金的术语和定义、分类与牌号、技术要求、试验方法、检验规则、标志、包装、运输、贮存及质量证明书。

本文件适用于采用闪速熔炼-快凝-致密化工艺制备的稀土改性镁合金挤压材、板材及锻件，主要用于新能源汽车底盘、低空飞行器结构件、海上风电紧固件、可降解医疗器械等领域。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 228.1-2021 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法

GB/T 228.2-2015 金属材料 拉伸试验 第2部分：高温试验方法

GB/T 232-2010 金属材料 弯曲试验方法

GB/T 3274-2017 碳素结构钢和低合金结构钢热轧钢板和钢带

GB/T 4338-2006 金属材料 高温拉伸试验方法

GB/T 6394-2017 金属平均晶粒度测定方法

GB/T 6461-2002 金属基体上金属和其他无机覆盖层 经腐蚀试验后的试样和试件的评级

GB/T 7999-2015 铝及铝合金光电直读发射光谱分析方法

GB/T 8170-2008 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 10125-2021 人造气氛腐蚀试验 盐雾试验

GB/T 13748.1-2013 镁及镁合金化学分析方法 第1部分：铝含量的测定

GB/T 13748.2-2005 镁及镁合金化学分析方法 第2部分：锡含量的测定

GB/T 13748.4-2013 镁及镁合金化学分析方法 第4部分：锰含量的测定

GB/T 13748.5-2005 镁及镁合金化学分析方法 第5部分：铁含量的测定

GB/T 13748.7-2013 镁及镁合金化学分析方法 第7部分：锆含量的测定

GB/T 13748.8-2013 镁及镁合金化学分析方法 第8部分：稀土含量的测定

GB/T 13748.9-2013 镁及镁合金化学分析方法 第9部分：锂含量的测定

GB/T 13748.10-2013 镁及镁合金化学分析方法 第10部分：硅含量的测定

GB/T 13748.12-2013 镁及镁合金化学分析方法 第12部分：铜含量的测定

GB/T 13748.14-2013 镁及镁合金化学分析方法 第14部分：镍含量的测定

GB/T 13748.15-2013 镁及镁合金化学分析方法 第15部分：锌含量的测定

GB/T 13748.17-2013 镁及镁合金化学分析方法 第17部分：钾含量和钠含量的测定

GB/T 13748.21-2013 镁及镁合金化学分析方法 第21部分：光电直读原子发射光谱分析方法测定元素含量

GB/T 16865-2023 变形铝、镁及其合金加工制品拉伸试验用试样及方法

GB/T 17432-2012 变形铝及铝合金化学成分分析取样方法

GB/T 26492.1-2011 变形铝及铝合金扁铸锭 第1部分：通用技术条件

YS/T 627-2013 变形镁及镁合金圆铸锭

ASTM B117-2019 Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus

ASTM G59-2014 Standard Test Method for Conducting Potentiodynamic Polarization Resistance

Measurements
ISO 10993-5:2009 Biological evaluation of medical devices — Part 5: Tests for in vitro cytotoxicity
T/BYXT 001-2025 稀土术语和定义

3 术语和定义

下列术语和定义中的内容适用于本文件。

3.1

稀土改性镁合金 rare earth modified magnesium alloy

以镁为基体，添加钇（Y）、钆（Gd）、钕（Nd）、铈（Ce）等两种及以上稀土元素，通过稀土协同微合金化作用，使力学性能、耐蚀性能或功能性能显著优于传统镁合金的变形镁合金。

3.2

闪速熔炼 flash smelting

采用等离子炬或电弧将镁锭及中间合金快速熔化，并通过惰性气体雾化成细小液滴，在保护气氛下完成熔炼的过程。

3.3

快凝 rapid solidification

熔融合金以大于 10^5℃/s 的冷却速率快速凝固，获得细晶或非晶组织的工艺。

3.4

致密化 densification

通过热等静压（HIP）或热挤压等方式，消除快凝材料中的孔隙，使致密度达到 99.5%以上的工艺。

3.5

等温挤压 isothermal extrusion

挤压过程中坯料与模具保持相同温度（温差≤3℃），以实现均匀变形动态再结晶的挤压工艺。

3.6

THz-TDS 检测 terahertz time-domain spectroscopy detection

利用太赫兹时域光谱技术，对材料的成分、组织或缺陷进行无损检测的方法。

3.7

数字孪生 digital twin

通过物理模型、传感器更新与运行历史数据，在虚拟空间中完成映射，反映实体装备全生命周期过程的数字镜像技术。

4 分类与牌号表示方法

4.1 分类

稀土改性镁合金按主要性能特征分为六类：
高强韧型（H）：抗拉强度≥450MPa，延伸率≥15%
超高强型（U）：抗拉强度≥520MPa，延伸率≥10%

高温抗蠕变型（HT）：300℃/50MPa 条件下蠕变量≤0.5%/500h
低成本高成形型（LC）：抗拉强度≥380MPa，成形极限 FLD_0≥0.35
耐海洋腐蚀型（M）：盐雾试验≥2800h，点蚀深度≤10μm
医用可降解型（Bio）：体外降解速率 0.1-0.2mm/年，细胞存活率≥95%

4.2 牌号表示方法

稀土改性镁合金牌号由四部分组成：
RMg-XXX-TX
其中：
RMg：稀土改性镁合金（Rare earth modified Magnesium alloy）
XXX：抗拉强度标称值（MPa）
T：类型代号（H/U/HT/LC/M/Bio）
X：状态代号（O-退火，H112-热加工，T4-固溶处理，T6-固溶+时效，T76-过时效）
示例：RMg-450H-T6 表示抗拉强度 450MPa 级高强韧型稀土改性镁合金，固溶+时效状态。

5 技术要求

5.1 化学成分

5.1.1 主成分范围

稀土改性镁合金化学成分应符合表 1 规定。

表 1 化学成分（质量分数/%）

牌号	Mg	Zn	Al	Mn	Y	Gd	Nd	Ce	Ag	其他单一	杂质总和
RMg-450H	余量	4.0-5.0	1.5-2.5	0.2-0.5	0.6-1.0	0.8-1.2	0.2-0.4	≤0.2	—	≤0.05	≤0.30
RMg-520U	余量	4.5-5.5	1.0-2.0	0.1-0.3	0.8-1.2	1.0-1.5	0.3-0.5	—	—	≤0.05	≤0.25
RMg-430HT	余量	3.5-4.5	2.0-3.0	0.3-0.6	1.0-1.5	1.2-1.8	0.3-0.6	≤0.2	—	≤0.05	≤0.30
RMg-380LC	余量	3.0-4.0	1.0-2.0	0.2-0.4	0.3-0.6	0.5-0.9	0.05-0.2	—	—	≤0.05	≤0.3

牌号	Mg	Zn	Al	Mn	Y	Gd	Nd	Ce	Ag	其他单一	杂质总和
											5
RMg-Marine	余量	3.5-4.5	1.5-2.5	0.4-0.6	0.6-1.0	0.8-1.2	0.2-0.4	0.1-0.3	—	≤0.05	≤0.30
RMg-Bio	余量	1.5-2.5	0.5-1.5	0.1-0.3	0.2-0.5	0.4-0.8	0.1-0.3	—	0.05-0.2	≤0.03*	≤0.10

*注：RMg-Bio 牌号 Fe+Ni+Cu≤0.01%，其他杂质≤0.03%。

5.1.2 稀土元素配比要求

Y、Gd、Nd、Ce 四种稀土元素应满足协同配比关系：
Y:Gd:Nd:Ce=(6-10):(8-12):(2-4):(0-2)
偏离此配比范围时，需通过工艺验证证明性能达标，并在质量证明书中注明。

5.2 力学性能

5.2.1 室温拉伸性能

室温拉伸性能应符合表 2 规定。

表 2 室温拉伸性能 5.3 物理性能

牌号	状态	抗拉强度 Rm/MPa	规定塑性延伸强度 Rp0.2/MPa	断后伸长率 A/%	比强度/(MPa·cm^3·g^{-1})
RMg-450H	T6	≥450	≥380	≥15	≥240
RMg-520U	T6	≥520	≥450	≥10	≥280
RMg-430HT	T6	≥430	≥360	≥12	≥230
RMg-380LC	T6	≥380	≥280	≥20	≥200
RMg-Marine	T6	≥410	≥340	≥14	≥220
RMg-Bio	T4	≥350	≥250	≥22	≥190

5.2.2 **高温性能**

高温拉伸性能应符合表 3 规定。

表 3 高温拉伸性能（200℃）

牌号	抗拉强度 Rm/MPa	断后伸长率 A/%
RMg-450H	≥320	≥20
RMg-520U	≥380	≥15
RMg-430HT	≥350	≥18
RMg-380LC	≥260	≥25

5.2.3 **抗蠕变性能**

RMg-430HT 牌号应进行抗蠕变性能测试，在 300℃、50MPa 条件下，500h 蠕变量≤0.5%。

5.2.4 **疲劳性能**

RMg-520U 牌号应进行疲劳性能测试，疲劳极限（10^7周次）≥180MPa。

5.3 **工艺性能**

5.3.1 **成形性能**

RMg-380LC 牌号成形极限 FLD_0≥0.35。

5.3.2 **焊接性能**

采用激光焊接时，焊接接头系数≥0.85。

5.4 **耐蚀性能**

5.4.1 **盐雾腐蚀**

盐雾试验（ASTM B117，5%NaCl，35℃）结果应符合表 4 规定。

表 4 盐雾腐蚀性能

牌号	试验时间/h	失重/(mg/cm²)	点蚀深度/μm	评级
RMg-450H	2200	≤0.20	≤20	≥9 级
RMg-520U	2000	≤0.25	≤25	≥8 级

牌号	试验时间/h	失重/(mg/cm²)	点蚀深度/μm	评级
RMg-430HT	2500	≤0.15	≤15	≥9 级
RMg-380LC	1800	≤0.30	≤30	≥8 级
RMg-Marine	2800	≤0.10	≤10	≥10 级

5.4.2 电化学腐蚀

电化学腐蚀速率（3.5%NaCl 溶液）应符合表 5 规定。

表 5 电化学腐蚀性能

牌号	腐蚀速率/(mm/a)	极化电阻/(Ω·cm²)
RMg-450H	≤0.15	≥1.0×10⁵
RMg-Marine	≤0.10	≥1.5×10⁵

5.5 医用性能（RMg-Bio 牌号）

5.5.1 降解性能

体外降解速率（模拟体液 SBF，37℃）：0.10-0.20mm/年。

5.5.2 生物相容性

细胞毒性试验（ISO 10993-5，MTT 法）：细胞存活率≥95%，毒性评级≤1 级。

5.5.3 杂质控制

Fe≤0.005%，Ni≤0.003%，Cu≤0.002%，总和≤0.01%。

5.6 组织要求

5.6.1 晶粒尺寸

RMg-450H、RMg-430HT、RMg-Marine：平均晶粒尺寸≤5μm
RMg-520U：平均晶粒尺寸≤2μm
RMg-380LC：平均晶粒尺寸≤10μm
RMg-Bio：平均晶粒尺寸≤1μm

5.6.2 析出相

T6 状态合金应存在双尺度析出相：

纳米级 Mg_3 (Y,Gd)相：尺寸 15-50nm，体积分数≥8%
层片状 $MgZn_2$相：层间距 100-300nm，体积分数≥5%

5.6.3 **致密度**

快凝-致密化材料致密度≥99.5%，超声检测无≥Φ0.5mm 缺陷。

5.7 尺寸及允许偏差

挤压材、板材的尺寸及允许偏差应符合 YS/T 627-2013 或订货单要求。

5.8 外观质量

表面应清洁，无裂纹、腐蚀斑点、起皮、气泡等缺陷。允许有轻微压痕、擦伤，深度不超过 0.5mm。

6 试验方法

6.1 化学成分分析

化学成分分析按 GB/T 13748 系列或 GB/T 13748.21 规定进行。仲裁分析采用 GB/T 13748 系列化学分析方法。

THz-TDS 在线检测方法见附录 B。

6.2 力学性能试验

6.2.1 拉伸试验

室温拉伸试验按 GB/T 228.1-2021 和 GB/T 16865-2023 进行，试样采用 R4 或 R7 比例试样。
高温拉伸试验按 GB/T 228.2-2015 和 GB/T 4338-2006 进行。

6.2.2 蠕变试验

蠕变试验按 GB/T 2039-2012 进行，试验温度 300℃±2℃，初始应力 50MPa±1MPa。

6.2.3 疲劳试验

疲劳试验按 GB/T 3075-2021 进行，应力比 R=0.1，频率 50-100Hz。

6.3 工艺性能试验

6.3.1 成形极限试验

成形极限试验按 GB/T 24171.2-2009 进行，采用半球形冲头胀形法。

6.3.2 焊接试验

激光焊接接头拉伸试验按 GB/T 2651-2008 进行，焊接接头系数为焊接接头抗拉强度与母材抗拉强

度之比。

6.4 耐蚀性能试验

6.4.1 盐雾试验

盐雾试验按 ASTM B117-2019 进行，连续喷雾，5%NaCl 溶液，pH6.5-7.2，35℃±2℃。

6.4.2 电化学试验

电化学试验按 ASTM G59-2014 进行，三电极体系，扫描速率 0.166mV/s。

6.5 医用性能试验

6.5.1 降解试验

体外降解试验按 ASTM F3269-2018 进行，模拟体液 SBF，37℃±1℃，每 7 天更换溶液，测试周期 28 天。

6.5.2 细胞毒性试验

细胞毒性试验按 ISO 10993-5:2009 进行，采用 L929 小鼠成纤维细胞，MTT 法测定细胞存活率。

6.6 组织检验

6.6.1 晶粒度测定

晶粒度测定按 GB/T 6394-2017 进行，采用截点法或面积法。

6.6.2 析出相分析

析出相尺寸、分布采用透射电子显微镜（TEM）或扫描电子显微镜（SEM）分析。

6.6.3 致密度测定

致密度采用阿基米德排水法或超声 C 扫描检测。

6.7 尺寸测量

尺寸测量采用通用量具或专用检具，精度不低于 0.02mm。

6.8 外观检验

外观检验采用目视检查，必要时采用 5-10 倍放大镜。

7 检验规则

7.1 检查和验收

7.1.1 产品应由供方质量检验部门进行检验，保证产品质量符合本文件及订货单要求，并填写质量证明书。

7.1.2 需方应对收到的产品进行验收。如检验结果与本文件或订货单不符，应在收到产品之日起 30 日内向供方提出，由供需双方协商解决。

7.2 组批

产品应成批提交验收。每批应由同一牌号、同一状态、同一规格和同一工艺制造的产品组成，批重不限。

7.3 检验项目及取样

产品检验项目及取样应符合表 6 规定。

表 6 检验项目及取样

检验项目	取样数量	取样部位	备注
化学成分	每炉 1 个	铸造样品或挤压前端	THz 在线全检
拉伸性能	每批 2 个	挤压材头部、尾部	不同根材
蠕变性能	每批 1 个	挤压材中部	仅 RMg-430HT
疲劳性能	每批 1 个	挤压材中部	仅 RMg-520U
成形极限	每批 1 个	板材	仅 RMg-380LC
盐雾腐蚀	每批 1 个	挤压材	不同牌号不同周期
电化学腐蚀	每批 1 个	挤压材	仅 RMg-Marine
医用性能	每批 1 个	挤压材	仅 RMg-Bio
晶粒度	每批 1 个	挤压材中部	
析出相	每批 1 个	挤压材中部	T6 状态
致密度	每批 1 个	快凝坯料	超声检测
尺寸偏差	逐根（张）	全长/全宽	
外观质量	逐根（张）	全长/全宽	

7.4 检验结果的判定

7.4.1 化学成分不合格时，判该炉产品不合格。
7.4.2 力学性能、工艺性能、耐蚀性能、医用性能、组织有一项不合格时，应从该批产品中另取双倍数量的试样进行重复试验。重复试验结果全部合格，则判该批产品合格；若重复试验结果仍有不合格，则判该批产品不合格。
7.4.3 尺寸偏差、外观质量不合格时，判该根（张）产品不合格，允许逐根（张）挑选或返修。

7.5 数字孪生工艺验证

采用数字孪生工艺文件（见附录 C）的产品，应在质量证明书中注明"数字孪生工艺验证合格"，并附工艺参数溯源二维码。

8 标志、包装、运输、贮存

8.1 标志

8.1.1 产品标志应包含：供方名称或代号、牌号、状态、规格、批号、生产日期。
8.1.2 包装标志应包含：产品名称、牌号、状态、规格、批号、净重、毛重、收货单位、发货日期、防潮防震标识。

8.2 包装

8.2.1 产品应采用防潮包装，内衬塑料薄膜或防锈纸，外包装采用木箱或钢带捆扎。
8.2.2 RMg-Bio 牌号应采用双层无菌包装，内包装为医用级 Tyvek 袋，外包装为铝塑复合袋。

8.3 运输

8.3.1 产品运输时应防雨、防潮、防腐蚀，避免机械损伤。
8.3.2 RMg-Bio 牌号应采用恒温运输（15-25℃），避免紫外线照射。

8.4 贮存

8.4.1 产品应贮存在干燥、通风、无腐蚀性气氛的库房内，相对湿度≤60%。
8.4.2 产品贮存期：一般牌号不超过 12 个月，RMg-Bio 牌号不超过 6 个月。

9 质量证明书

每批产品应附有质量证明书，注明：
a）供方名称、地址；
b）产品名称、牌号、状态、规格；
c）批号、数量；
d）化学成分分析结果；
e）力学性能、工艺性能、耐蚀性能、医用性能试验结果；
f）组织检验结果；
g）尺寸偏差、外观质量检验结果；

h）数字孪生工艺验证标识（如适用）；
i）本文件编号；
j）质量检验部门印记、检验日期

附录 A

（规范性附录）

闪速熔炼-快凝-致密化工艺规范

A.1 工艺原理

通过等离子炬将镁锭及中间合金快速熔化（1200℃±50℃），惰性气体（Ar+N_2）雾化成 50-200μm 液滴，高速撞击水冷铜辊（转速 2000-4000rpm），以 10^6℃/s 冷却速率凝固成 2-5mm 带坯，再经热等静压（HIP）致密化，获得致密度＞99.5%、晶粒 0.5-2μm 的细晶坯料。

A.2 工艺参数

表 A.1 闪速熔炼-快凝-致密化工艺参数。

工序	参数	控制范围	检测方法
预热	镁锭温度	200-250℃	红外测温
熔炼	等离子功率	1.0-1.5MW	功率计
	熔炼温度	1150-1250℃	双色红外测温
	雾化气体压力	0.5-1.0MPa	压力传感器
	雾化液滴粒径	D50=80±20μm	高速摄像+图像分析
快凝	铜辊转速	2000-4000rpm	编码器
	冷却速率	≥10^6℃/s	计算+金相验证
	带坯厚度	2.0-5.0mm	激光测厚
致密化	HIP 温度	350-400℃	热电偶
	HIP 压力	100-150MPa	压力传感器
	HIP 时间	1-3h	计时器
	致密度	≥99.5%	阿基米德法

A.3 质量控制

A.3.1 每炉进行 THz 成分在线检测，偏差超过±0.02%时自动调整中间合金喂料速度。

A.3.2 每卷带坯进行厚度扫描，厚度偏差＞±0.3mm 时标记并隔离。

A.3.3 每批 HIP 坯料进行超声 C 扫描，缺陷≥Φ0.5mm 时返工或报废。

附录 B

（资料性）

THz-TDS 在线检测方法

B.1 检测原理

利用太赫兹脉冲与材料相互作用产生的振幅衰减和相位延迟，通过时域信号反演材料的成分、密度、缺陷等信息。

B.2 检测设备

太赫兹源：光电导天线或光整流晶体，频率范围 0.5-3.0THz
探测器：电光采样或光电导采样，时间分辨率＜50fs
扫描平台：二维电动平移台，行程 300＜mm×300＜mm，定位精度±10＜μm
数据处理：GPU 加速 FFT，单点采集时间＜1＜ms

B.3 检测程序

B.3.1 熔体成分检测（透射模式）：
取样：熔体流经石英观察窗
参数：频率 1.0-2.0＜THz，温度补偿 700℃
输出：Y/Gd/Nd/Zn/Al 含量，精度±0.02%
B.3.2 带坯组织检测（反射模式）：
取样：铜辊出口处带坯表面
参数：频率 0.5-1.5＜THz，扫描速度 10＜m/min
输出：晶粒尺寸分布、致密度预估
B.3.3 挤压材性能预测（透射+反射双模式）：
取样：挤压出口型材
参数：频率 0.5-3.0＜THz 全频段
输出：抗拉强度预测（误差±5%）、耐蚀性评级

B.4 校准与溯源

B.4.1 每班使用标准镁合金样品进行设备校准。
B.4.2 每月与化学分析法进行比对验证，偏差＞±0.05%时重新标定。

附录 C

（资料性）

数字孪生工艺文件模板

C.1 文件结构

数字孪生工艺文件应包含以下模块：

模块	内容	数据格式
产品信息	牌号、规格、订单号、客户代码	JSON
原料信息	炉号、化学成分、供应商、批次	JSON
工艺参数	熔炼/快凝/致密化/挤压/时效全流程参数	时序数据库
检测数据	THz 在线检测+离线检验结果	结构化数据+图像
仿真结果	数字孪生预测的组织、性能	三维模型+数值
质量判定	合格/不合格，不合格原因及处置	布尔+文本
溯源标识	唯一二维码，链接完整数据链	QR Code

C.2 关键工艺参数记录示例

表 C.1 闪速熔炼工序数字孪生记录

时间戳	等离子功率/kW	熔炼温度/℃	雾化压力/MPa	THz-Y/%	THz-Gd/%	仿真晶粒/μm	实测晶粒/μm	偏差
2026-01-15T08:30:00Z	1250	1185	0.75	0.82	1.05	1.2	1.1	-8%
…	…	…	…	…	…	…	…	…

C.3 数据安全

C.3.1 工艺数据采用区块链存证，防篡改。

C.3.2 客户可扫描二维码验证产品全生命周期信息。

C.3.3 核心工艺参数（如稀土配比、AI 优化算法）加密存储，仅授权人员访问