

电流变液研究进展及最新动态^{*}

——第5届国际电流变液、磁悬浮体 及相关技术研讨会评介

周鲁卫 潘 胜 乔皓洁

复旦大学物理系, 上海 200433

提要 通过评介第5届国际电流变液、磁悬浮体以及相关技术研讨会, 指出电流变液和磁流变液的应用研究有重要进展; 磁流变液的剪切应力比电流变液大一个数量级, 近来又受到重视; 在机理研究中, 要注意电流变液的表面效应、损耗对电流变效应的影响。本文还归纳了一些电流变液材料设计的思路。

关键词 电流变液; 磁流变液; 电-磁流变液

1995年7月10日到14日, 第5届国际电流变液、磁悬浮体以及相关技术研讨会在英国设菲尔德(Sheffield)召开。就参加会议人数、代表的国家与地区数目以及递交的文章数目来看, 在国际电流变液会议历史上, 这次研讨会的规模是空前的。会议代表有109人, 代表18个国家和地区, 表明电流变液研究受到越来越多的重视。英国代表有30人, 美国19人, 日本13人, 德国13人, 白俄罗斯7人, 我国代表2人。会议接受的文章有91篇, 其中口头报告67篇^[1]。下届研讨会将于1997年在日本米泽市召开。综合来看, 这届会议的特点是会议规模空前, 应用研究有重要进展, 磁流变液研究受到重视。

1 令人振奋的应用研究进展

美国 Lord 公司在报告中展示了应用磁流变液的3种上市产品。一种是磁流变液的卡车座位减振器。减振器全长15cm, 在磁场区域内有效的流体量仅为 0.3cm^3 , 用于产生磁场的电力功耗为15W。这种磁流变液减振器可以直接替代普通减振器, 使卡车座位的振幅减少20%到50%, 大大减少卡车司机在矿山等崎岖道路上驾车的危险。他们研制的磁流变刹车的最大传输力矩为 $7\text{N}\cdot\text{m}$, 最大转速为1000rpm, 最大吸收功率为700W, 输入功率则小于

* 国家自然科学基金资助项目

10W。这种刹车已由厂家制成可以程控的航空练习设备。还有一种小型的主动型减振器，它的最大冲程为3 cm，减振力为0—200N，器件响应时间小于10ms，在用12V直流供电的情况下，它的电流是1A。这种减振器中没有滑动封口，它和另一个弹簧减振器并行使用，可作成是一个阻尼可控的减振器。

美国 Lubrizol 公司会同一汽车设备公司制造出了半主动型电流变液汽车悬挂系统，并已在福特公司的汽车上进行了道路试验。到 Lubrizol 公司去的人可以坐一坐这种车子，亲身体验一下。他们研制的电流变液的零场粘滞系数 $\eta_0 = 60 \text{ mPa}\cdot\text{s}$ 。设计要求在加电场后，不论什么速度下，前轮获得的最大减振力为 3000N。这对应于用 5000V 供电时的最大电场下，剪切应力达到 4 kPa。后轮减振力略小。每个减振器的最大功耗为 20W (电流为 4mA)。车上使用一个英特尔 80C196 型的 16 位微处理器，测到相关信号后 2ms 内，电源即可发出功率输出。会议上播放的录象显示，普通汽车在经过凹坑时，车体下沉和上抬很厉害；装备电流变液减振器的车子下沉和上抬都大大减小。在试验场的正弦形特制道路上，没有一种正常车子的速度可以高于 56km/h；但装备电流变液减振器的车子行驶平稳，可以开到 96km/h。但现有材料只在室温附近性能才比较好。

白俄罗斯传热传质研究所的 Kordonskii 研究了以磁流变液为基础的光学抛光、密封应用。使用静态剪切应力 $\tau = 5 \text{ kPa}$ 的磁流变液，在 $H = 150 \text{ kA/m}$ 的磁场强度，封口无转动时，磁场线圈电流 $I = 2.5 \text{ A}$ 时，这种密封圈可承受的最大加压压强为 $P^* = 180 \text{ kPa}$ 。他们研究了 P^* 的动态过程，发现转动时 P^* 先是迅速上升，在 35 rpm 时达到最大值 $P^* = 330 \text{ kPa}$ ($I = 2.5 \text{ A}$)，然后缓慢下降，在 240 rpm 时仍达 250kPa。他们发现 P^* 与 H^2 成正比；磁流变液的 P^* 是铁磁流体 (ferrofluid) 的 3 倍；这种密封圈在制备磁流变液的设备上得到了实际应用。该小组还和工厂合作生产磁流变综合锻炼器。他们生产的锻炼器受到消防和公安部门欢迎。这种锻炼器的核心部分是一个磁流变阀门。它可以方便地通过增加磁场强度来增加磁流变液流阻，使锻炼者的作用力从约 200N (20kgf) 增加到约 1200N (120kgf)，整个设备的电力功耗仅 15W。他们正积极将磁流变锻炼器推向国际市场。这个研究组早年和白俄罗斯汽车厂合作生产卡车司机座位上的减振器，但现在该厂不再制造汽车，他们的这项研究工作只能下马，在与美国竞争中失去了优势。

德国 Bayer 公司研制了一种结构简单的电流变液致动器 (actuator)。在这种致动器中只使用 1 套电流变阀门及高压控制系统，而不是象以往那样要 2 套或 4 套阀门及高压系统。美国内华达大学研究了在桥梁及高速公路的支架下安装电流变液减振器，以减少地震带来的损失。白俄罗斯 Korobko 研制电流变液工件夹具。他们使用的电流变液是加了添加物的硅藻土电流变液，基础液体是变压器油，用作夹具的电流变液固相颗粒含量重量比为 60%。这是一种水激活的材料，在室温下使用水含量不会改变。一般磨床的工件是铁磁性的，对非铁磁材料有时可用真空吸住工件，但对表面高低不平的或有孔洞的工件，真空法也不适用。但任何情况都可方便地使用电流变夹具。这种夹具的结构可分为两大类。第一类结构中，工件不作为电极，由有机玻璃相隔的电极或是成平行排列，或是成同心圆排列。电流变夹具的承受能力在切向为 7 kPa，法向为 50 kPa。第二类夹具中，工件也作为一个电极，夹具的承受能力在切向为 20 kPa，法向为 120 kPa。另外，应印刷企业的要求该小组还研究了具有电流变效应的油墨在电极附近的行为。在施加电场时，如果具有电流变效应的油墨液滴落于电极之间会

聚成球体而不摊平,液滴干燥后再撤去电场,就可以获得永久性的球形油墨。这有利于印刷线条精细的图象、文字。美国海军一研究部门通过电设置(Electroset)获得多孔材料,很薄的一层就有较强的消音性能,它能应用于飞机、舰船上的隔音,引起飞机、舰船甚至民用物品设计部门的浓厚兴趣。

电流变液、磁流变液在应用上的进展使人们相信,这些电流变液、磁流变液的研究已经到了开拓商业应用的阶段。在电流变液和磁流变液的研究中,各国非常重视及时将研究的内容转化到应用上去。这对我国的研究工作也很有启发。有人预言在汽车工业上,21世纪是电流变和磁流变的世纪,就是因为电、磁流变液具有进入千家万户的应用前景。在发展我们的应用研究时,我们应围绕若干件具体产品开展所需的材料、材料物性、机理等方面的研究。

2 引人瞩目的新材料

单相的液晶电流变液具有不会沉降的显著优点,以往的问题是材料的剪切应力较低,响应时间较长,而且在高温和低温下材料的电流变性能都较差。英国 Hull 大学用 70% 的 E7(Cereclor-50LV 和向列型液晶混合物)作为连续相,30% 的 Lipma 作分散相。Cereclor-50LV 是一种在许多电流变液中广泛被用作连续相的氯代烃材料。20℃ 下,当剪切率 $\gamma = 1000 \text{ s}^{-1}$, 电场 $E = 4 \text{ kV/mm}$ 时,该材料的剪切应力 τ 达到 12 kPa。高温对剪切应力的影响,以及材料的响应时间尚无报道,但这一结果已经引人瞩目。

日本 Asahi 化工公司研制了一种新型液晶高分子电流变液。液晶本身的电流变效应非常弱,但是侧链液晶高分子和平面聚二甲基硅氧烷油的混合物在电场下显示很强的电流变效应。他们的作法是把包含氧化乙烯软段(spacer)和以 4-氰基苯甲酸苯脂为基的液晶高分子同聚二甲基硅氧烷油按 2:1 的重量比例加以混合。同零场相比,在 2 kV/mm 外场下 30℃ 时能获得 3000 Pa 的剪切应力增量;到 160℃ 时,仍能获得接近 100 Pa 的剪切应力增量。这一材料的主要特点是没有颗粒沉降、聚集或磨损等普通两相电流变液遇到的问题。据研究者分析,这种材料产生电流变效应有两种机制,一是定向的液晶网络导致的电流变效应,二是以液晶为基础的聚合物和聚二甲基硅氧烷油之间的相分离。

磁流变液由于其具有较强的剪切应力而受到广泛的重视。通常磁流变液的剪切应力大约比电流变液大一个数量级。一般说来,良好的磁流变液必须具备下列性能^[2]:(1)磁流变液所具有的磁流变效应是一种可逆变化,它必须具有磁化和退磁两种可能性。因此这种流体的磁滞回线必须狭窄,内聚力较小,而磁导率很大,尤其是磁导率的初始值和极大值必须很大。(2)这种悬浮液应具有较大的磁饱和,以便使得尽可能大的“磁流”通过悬浮体的横截面,从而给颗粒相互间提供尽可能大的能量。(3)这种液体在接上交流电的工作期间内,全部损耗(例如磁滞现象、涡流现象等)都应该是一个很小的量。(4)这种悬浮液中的强磁性粒子的分布必须均匀,而且分布率保持不变,这样才能保证其具有高度的磁化及稳定性能。(5)为了防止磁流变液被磨损并改变性能,这种液体必须具备极高的“击穿磁场”。(6)一般说来,这种液体的稳定性应不随温度变化而改变,即在相当广阔的温度范围内应具有极高的稳定性。(7)构成磁流变液的原材料应是价廉的而不是稀少的。

通常所用的磁性材料都是由铁、钴、镍等多畴材料组成,它们的比重往往都比连续相

(可以是煤油, 可以是水, 也可以是其它复杂的混合液体) 的比重大。为了防止沉降, 以往的作法都是加入各种不同的表面活性剂。白俄罗斯 Kordonskii 的作法不同, 他们把极细的硬磁材料和较大的软磁材料同连续相一起充分混合。针状硬磁材料的一端均匀地附着在软磁材料表面, 使每个软磁小颗粒都成为一个“蒲公英”, 从而改善了沉降问题。在外场下, 硬磁材料趋于排列, 所以这一作法又同时提高了材料在外磁场强度 H 下的有效粘度。 $H = 84 \text{ kA/m}$ ($\approx 1070 \text{ Oe}$) 时的有效粘度比零场值大 2 个数量级。使用长短轴比为 10:1 的 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$, 在 $\phi = 0.25$, 剪切率 $\dot{\gamma} = 444.5 \text{ s}^{-1}$, $H = 60 \text{ kA/m}$ (750 Oe) 时, 剪切应力 $\tau = 200 \text{ Pa}$, 比仅用羰基铁时的剪切应力大 4 倍。使用长短轴比为 15:1 的氧化铬, 在其它情况不变时, 剪切应力比加 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 时的剪切应力又大 3 倍。这一方面是因为氧化铬的磁化强度比 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 的大, 另一方面是因为前者的外形更长。但是 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ 的磁导率比羰基铁的小许多, 过多的硬磁材料会使材料总体的磁导率下降许多, 导致磁流变效应下降。

美国 Lord 公司报道了 6 种合金磁流变液的制备结果。他们所使用的固体颗粒为铁-钴、铁-镍、铁-钴-钕等合金的超细粉末。当固体颗粒体积比 $\phi = 0.25$, $H = 550 \text{ kA/m}$ (7000 Oe) 的磁场强度下, 这些材料的动态屈服应力可以达到 20—48 kPa。

磁流变液的主要弱点是响应时间长, 这限制了它在要求反应快的一些场合的应用。以上这些工作都没有涉及材料的响应时间, 关于缩短磁流变液响应时间的报道也不多见。这方面很值得作些努力。磁流变液温度效应的报道也不多。我们在这一方面正在作一些改进, 目前已经获得了性能较好的磁流变液体。许多应用场合对响应时间要求不高, 但需要极大的粘度变化, 这时磁流变液就可以大展身手。我国对磁流变液的研究还不多, 应当加紧起步。

现在电流变学界得到了比较一致的看法: 磁流变液的效应之所以比较强, 是因为磁流变液具有固有磁矩。这给研制效应较强的电流变液指出了一条可行的途径: 寻找具有固有电偶极矩的固体颗粒。

3 物性和机制研究

3.1 电-磁流变液

电流变液的响应时间短, 磁流变液有较强的诱导剪切力。复合的电-磁流变液有较好的效果。第 4 届电流变液研讨会上, 白俄罗斯的 Kordonskii 曾经报道, 对电-磁流变液同时加电场和磁场的效果比单独加电场或磁场的效果的总和来得好。日本山形大学的 K. Koyama (下届国际电流变液研讨会的组织者) 比较细致地研究了这种增效 (synergistic) 效应。他发现当电场和磁场方向相同时, 增效效应最强, 并认为这是因为在这种情况下, 固体颗粒成链数目大大加强所致; 当电场和磁场方向互相垂直时, 颗粒形成网络结构, 但对剪切力的增长却无多大帮助。

3.2 电导模型

解释电流变效应一直是个研究热点。颗粒间距 S 大于颗粒半径 R 时, 可用偶极子模型计算颗粒间的相互作用, $S < R$ 时, 可以通过等势球来求颗粒间的相互作用。法国 Grenoble 一小组前年提出了电导模型以解释电流变效应。这次他们又和清华大学合作改进原有的电导模型, 以适应 $S \ll R$ 的情况。他们计算了相互作用, 并计算了当固体颗粒成分比 ϕ 很小或很大

时的静态屈服应力 τ_{ys} , 所得值 $\tau_{ys} = 170 \text{ Pa}$ ($\phi = 0.3$)。这比实验值小许多, 可能是模型过于简单, 没有考虑多体相互作用。通过对具体的电流变液的测量, 他们注意到, 电学量和流变学量之间有一定的联系, 即用流过电流变液的电流归一化后对 Mason 数作图时, 可得到一条普适的曲线。Mason 数定义为 $Mn = \eta \dot{\gamma} / (\epsilon_L E^2)$, 其中 $\dot{\gamma}$ 为剪切率, η 和 ϵ_L 分别为基液的粘滞系数和介电常数。电学量和流变学量均与流体结构化有关, 所以有可能通过简单的电信号的测量得到有关流体结构的信息。当然, 两者还是有许多的不同。研究电导率在电流变效应中的作用也是很重要的。实验表明, 颗粒电导率 σ_s 小于基础液体电导率 σ_L 时, 一定没有电流变效应; σ_s 太大时电流变效应也弱; 他们的结论是: 颗粒电导率的上限 $\sigma_{max} \approx 10^{-7} \text{ S/m}$, 下限是 $10^3 \sigma_L \leq \sigma_{min} \leq 10^{-7} \text{ S/m}$ 。电荷交换的时间比排链时间短, 则分开; 电荷交换得慢些, 则有可能吸引, 并有足够时间形成稳定的链。在两个处于接触的粒子间, 进行电荷转移所需要的时间为 ϵ_L / σ_s 的 10 到 20 倍, 成链时间 $t_{chain} \approx \eta / \epsilon_L E_0^2 \approx 1 \text{ ms}$, 由此得 $\sigma_s \approx 10^{-7} \text{ S/m}$ 。

3.3 耗散在电流变效应中的作用以及与材料设计有关的建议

电流变液存在直流电导 σ_{DC} 和交流等效电导 σ_{eff} 。 σ_{eff} 和 σ_{DC} 随温度的变化是不同的, 其间存在着一个差异值 ($\sigma_{eff} - \sigma_{DC}$)。这个差值描述交变电场下束缚电荷在颗粒内部的转移, 可称为“位移电导”。它随温度的升高而变大。我们首次提出, 交流等效电导 σ_{eff} 引起的损耗由两部分组成, 物理上分为直流电导对损耗的贡献和极化过程中颗粒内部的束缚电荷对损耗的贡献。前者为不利的损耗, 应尽量避免; 后者是电流变液中的固体颗粒极化所必需的。变温的剪切应力测量结果与上述电测量结果的比较也表明, 较大的“位移电导”对应较强的电流变活性。传统上, 描述电流变效应的理论框架为**极化-结构-流变**。在电场力的作用下, 固体颗粒产生极化, 生成链或柱的结构, 这种结构有序化过程是一种熵减小的过程, 必然伴随着能量的耗散。在电流变效应中能量和电荷的转移是引起电流变效应的重要因素。考虑到基本的损耗过程在电流变效应中具有重要作用, 我们首次提出描述电流变效应的理论框架应该为**极化-耗散-结构-流变**, 并提出在材料设计中应考虑, 在实用温度范围内使 ($\sigma_{eff} - \sigma_{DC}$) 的值较大并对温度不敏感。

中科院物理所、中科院化学所、华东理工大学^[3]、复旦大学等单位的研究小组经过大量的研究工作得出一些对电流变液材料设计的思路。结合国外的一些工作, 这些思路是: (1) 磁流变液的剪切应力大是因为有固有磁偶极矩, 所以找具有固有电偶极矩的颗粒, 可能是获得较强电流变液的一条途径。(2) 电流变液的颗粒体积分数 ϕ 应该约为 0.37。(3) 关于电导: $\Delta\sigma = \sigma_{eff} - \sigma_{DC}$ 大, 电流变效应强; σ 应大约在 10^{-9} S/m 和 10^{-7} S/m 之间; σ 大的话, 响应速度大, 响应快; 如果 σ 温度系数小, 电流变液的工作范围大。(4) 关于损耗角正切 $\text{tg } \delta$: 如介电常数 ϵ' 大时, $\text{tg } \delta$ 也大, 电流变效应就强; $\text{tg } \delta$ 为 0.1 时, ϵ' 越大越好; 如果温度上升时, $\text{tg } \delta$ 也上升, 流变效应就强。(5) 所谓“协同效应”, 即如果电流变液的基础液体和固体颗粒具有同类极性的基团, 比如都具有羟基, 则材料的电流变效应就强。

3.4 相变

美国长滩加州州立大学用 Fe_3O_4 制成稀薄的铁磁流体 (固体颗粒体积比为 7.5×10^{-5} 到 0.1), 根据实验观察和理论计算定义了他们称之为相变的 3 个临界磁场, $H_{c1} < H_{c2} < H_{c3}$ 。当 $H < H_{c1}$ 时, 铁磁流体系统处于颗粒悬浮, 无规分布的“气体”态; 当 $H_{c1} < H < H_{c2}$ 时, 出现短链和独立颗粒共存的状态; 当 $H_{c2} < H < H_{c3}$ 时, 处于向列型液晶流体态; 当

$H > H_{c3}$ 时, 系统出现稳定的柱状固体状态。实验上他们观察到, 当材料的固体颗粒的体积成分 ϕ 比较大时, 在较小的磁场下, 铁磁流体系统就能进入短链-颗粒共存态以及液晶流态。也就是说, H_{c1} 和 H_{c2} 随 ϕ 的增加而变大。但是 ϕ 增加后, 却需要更强的磁场才能使体系进入固体状态。也就是说, H_{c3} 随 ϕ 的增加而变小。运用标度法他们算出 $H_{c1} \approx \phi^{-1/2}$, $H_{c2} \approx \phi^{-1}$, $H_{c3} \approx \phi^{3\gamma/4} \exp(\pi G / \phi^{\gamma/2})$, 而 $G = 0.186$, $\gamma = 2/5$ 为两个标度参量。由此, H_{c3} 随 ϕ 的出乎意料的变化得到了较好的解释。不少代表提出, 电流变液、磁流变液在外场下的变化是否为“相变”, 还需要更多的实验证明。但他们的工作对理解磁流变效应的机制是很有意义的。

3.5 其它一些新的模型

日本现在有 100 人左右在作电流变性的研究, 各个单位运用不同的方法进行实验时均统一采用日本 Bridgestone 研制的样品, 这样可以提高研究的可靠性, 以及不同实验结果之间的可比性。日本桥石公司提出一个电流变液处于流动时的结构模型。和通常考虑的链状模型不同, 他们提出层状结构模型, 认为靠近极板是固体层区; 极板中间是液体层区。他们计算了剪切应力在电场下的增加值。

美国南伊利诺大学陶荣甲用有限元素分析法解一个电流变系统的 Laplace 方程, 该系统中的链由无穷多介电粒子组成。他们发现, 当邻近粒子靠得非常近时, 在粒子和液体介电常数的失配不是很大的情况下, 偶极子模型在计算能量时尚能给出很好的近似; 当粒子接触或接近接触时, 偶极子模型却低估了粒子对之间的吸引力。相反, 当粒子接近接触, 而且介电失配很大时, 电导模型却能给出较好的近似。他们的计算给出了不同邻近情况、不同介电失配情况下, 邻近粒子对之间的吸引力。单相的液晶电流变液没有沉降的问题, 在完全不允许沉降的场合, 液晶电流变液非常有吸引力。陶荣甲还用计算机模拟了单一组分的高分子溶液的三维电流变系统的有效粘滞系数。

美国康州大学的 M. T. Shaw 研究了棒状粒子的电流变特性。他们假定电流变液的电流变特性完全由粒子间的相互作用引起, 由此计算棒状粒子的相互作用。在外场作用下, 粒子间的相互作用, 可以通过介电相互作用, 也可以通过机械相互作用得到加强。他们工作的目的是要区分两种相互作用, 并判定究竟那种相互作用更重要。根据实验他们发现, 在大多数(不是全部)情况下, 体系的流变性质可以用流体的介电性质来解释。

美国密执安大学的 Filisko 是无水电流变液的奠基人之一。他在 1993 年第 4 届电流变液研讨会和这次会议期间都提醒人们还要注意成“链”以外的其它现象。他用“见木不见林”这句话来评价过分强调成“链”的观点。他说, 你在电流变这个领域工作得越久, 你越感到有些东西被忽略了。他感到颗粒的“表面效应”是很重要的, 但他还不十分清楚, 所谓“表面效应”究竟是指什么。笔者认为表面科学中许多研究手段应引到电流变液的研究中来。

位于明斯克的白俄罗斯科学院传热传质研究所, 已有 30 多年研究电流变液、磁流变液的历史。该所的 Shulman 教授于 1972 年首次把当时在国际文献中惯用的电粘效应改称为电流变效应。有人运用偶极矩相互作用, 或用颗粒成链解释磁流变效应。但前者不能解释在流动时, 颗粒链为什么在中间断; 后者又不能解释剪切变稀。这些现象又不能用流变学中的宾汉模型来解释。Shulman 和 Kordonskii 根据能量损耗的观点对磁流变现象作了较好的解释。现在舒曼教授还开辟一个领域, 组织了 12 个单位的 30 多名研究人员, 研究生物体活组织中生

命液体的流变行为。他们发现,在大约42℃时,癌细胞死亡速度比正常细胞更快。这在临床上是非常重要的,他们的研究是从流变学的观点来解释这一点的。

笔者感谢孙猛、S.N.Koscheeva、邱志勇、胡林和吴建耀的协助。

参 考 文 献

- 1 Boulogh W (ed) . The Proceedings of 5th International Conference of Electrorheological Fluids, Magnetic Suspension and Related Technologies, July 1995, Sheffield, UK, World Scientific, Singapore (1996)
- 2 Шульман З П, Кордонский В И. Магнитореологический Эффект. Наука и Техника, Минск (1982): 12
- 3 李春洲. 电流变效应及其机理研究. 博士论文, 华东理工大学, 上海 (1995)

PROGRESS AND RECENT DEVELOPMENT OF STUDIES ON ELECTORRHEOLOGICAL FLUIDS

—A REVIEW ON THE 5TH INTERNATIONAL CONFERENCE
ON ELECTORRHEOLOGICAL FLUIDS, MAGNETIC SUSPEN-
SIONS AND RELATED TECHNOLOGIES

Zhou Luwei Pan Sheng Qiao Haojie
Fudan University, Shanghai 200433

Abstract From the 5th International Conference on Electrorheological Fluids, Magnetic Suspensions and Related Technologies, it can be seen that important progresses have been made in application researches on both electrorheological (ER) and magnetorheological (MR) fluids. The shear stress of MR fluids is one order of magnitude higher than that of ER fluids, so more attention has been paid recently to the research on MR fluids. The surface effect of ER fluids, and the influence of energy loss to the ER effect are important in the study of mechanism of ER effect. Some problems concerning the material design of ER fluids are also mentioned in this paper.

Keywords *Electrorheological fluids, magnetorheological fluids, electro-magnetorheological fluids*