

# 土石坝防渗土工膜拼接方法

任泽栋<sup>a</sup>, 蔚成亮<sup>a</sup>, 张鹏<sup>b</sup>, 朱凯<sup>a</sup>, 张南南<sup>a</sup>

(河海大学 a. 水利水电学院; b. 土木与交通学院, 南京 210098)

**摘要:**土石坝防渗土工膜材料多种多样,土工膜受生产工艺的限制在进行大面积布设时必须进行拼接,因此很有必要针对不同的拼接方法进行详细分析。结合规范中土工膜的拼接效果评价标准,论述了土工膜拼接质量现场检测各种方法的原理和技术要求,在此基础上对国内外有关土工膜拼接方法的研究成果进行了总结。按照土工膜拼接过程中是否有化学反应发生,将拼接方法分为物理方法和化学方法,并详细论述了各种方法的工作原理、适用范围及优缺点。最后,结合研究的现状提出一些与土工膜拼接有关的问题。

**关键词:**防渗土工膜;检测方法;拼接方法;研究成果

**中图分类号:**TV 49

**文献标志码:**A

**文章编号:**1001-5485(2013)12-0082-05

土石坝防渗用土工膜具有较高的抗渗性、延展性、耐腐蚀、耐低温等优良性能。我国从上世纪80年代在岩土和土石坝工程中开始应用土工膜作为基础防渗材料。随着土工膜性能的提高,土工膜作为新型防渗材料在土石坝工程中得到更加广泛的应用。目前国内生产的土工膜尺寸一般为2~9 m,由于生产工艺的限制,很难制造尺寸与坝体面积相当的大面积土工膜。有些工程也尝试使用在工地原位制造土工膜的方法,但是这种现场制造的土工膜厚度很难控制,布设极不均匀,而且不能够实现加筋,存在很大的局限性,因此只能用拼接的方法来获得大面积的土工膜以满足工程的实际需要。随着生产技术的提高,土工膜母料的物理性能足以满足工程需求,而拼接部位性能几乎成为决定工程成败的关键因素,因此对土石坝防渗用土工膜拼接方法和检测措施的研究显得至关重要。

## 1 土工膜拼接效果的性能评价及现场检测

### 1.1 土工膜拼接效果的性能评价标准

土石坝防渗用土工膜拼接方法多种多样,各种方法优缺不一,拼接处土工膜的性能标准是评价各种拼接方法优劣的主要依据,也是指导工程应用的主要参数。土工膜拼接后性能的评价合格标准如表1所示<sup>[1]</sup>。

### 1.2 土工膜拼接效果的现场检测方法

土工膜拼接在实际工程应用时,首先要采集试样

表1 土工膜拼接性能评价标准

Table 1 Criteria of performance assessment for geomembrane splicing

目测法	现场检漏法		抽样测试法
	真空法	充气法	
观察无漏接,接缝无烫损、无褶皱,拼接均匀	抽真空至负压0.02~0.03 MPa,静观30 s,罩内无肥皂泡产生,真空度不下降	双条焊缝待测段封堵,充气至0.05~0.20 MPa,静观30 s,真空表读数不下降	1 000 m <sup>2</sup> 取一试样,拉伸强度不低于母材强度80%,断裂位置不得在焊缝处

进行拼接试验,并对拼接试样进行室内实验测试,验证各种指标是否达标,进而可以优化选择适合工程实际的拼接方式。但是施工现场拼接的土工膜很难用室内实验的方式测试其拼接后的性能,因此很多现场测试的方法应运而生,目前工程中应用比较广泛的方法主要有真空罐法、火花试验法、超声波探测法、双焊线加压检测法等<sup>[2]</sup>。

#### 1.2.1 真空罐法

真空罐法测试前需将待测部位清洁干净并涂抹少量肥皂水,然后利用有机玻璃或其他高强度透明材料制成的带有气孔的半球形的罩体罩住,最后用真空泵通过气孔对罩内气体抽真空,当真空度达到20 kPa时将抽气阀关闭。若涂抹在接缝位置的肥皂水不产生气泡且真空度不变,则表明该处接缝合格,否则该处需要重新修补。

#### 1.2.2 火花试验

拼接时在接缝内预置一条金属丝,待焊接完毕后,用带有高压(15~30 kV)的金属刷沿焊缝移动,如果某处出现漏焊或焊漏的情况,则高压电流会

将金属刷与金属丝之间的空气击穿,产生电火花,如果未出现电火花,则表明该段焊缝焊接合格。利用这种方法,漏焊或焊漏的位置能及时准确地记录下来,方便快捷。

### 1.2.3 超声波探测

超声波在不同的介质中传递速度不同,而且由一种介质传递到另一种介质时会有一部分波发生反射。依据这个原理借助于超声波发射仪,沿膜的拼接部位垂直于土工膜发射超声波,当波传递到膜的底部时会发生反射回来,发射波与反射波的时差可以通过传感器测得,并且能够同步在显示器上显示出来。如果时差缩短则表明该处有漏焊或焊漏的情况,如果前后时差差别不大,则表明土工膜拼接良好。

### 1.2.4 双焊线加压检测

对于热焊接机焊接双焊线的情况,可以选取 50~60 cm 长的一段焊缝,用针状物在 2 条焊缝中间扎孔,然后用压缩机向焊缝中间空腔内充气,待气压达到 200 kPa 时停止充气,10~20 min 后观测压缩机自带气压表,若气压无明显下降,则表明焊缝满足工程要求。

## 2 土工膜的拼接方法

土石坝防渗用土工膜的材质、尺寸、力学性能、应用范围等各不相同,因而与之对应的拼接方法也多种多样。按照拼接过程中接头处的膜有无分子参与化学反应,可以将各种拼接方法分为化学方法和物理方法。其中化学方法主要包括热压硫化法和溶剂拼接法;物理方法主要包括胶接法和热焊接法。

### 2.1 化学方法

#### 2.1.1 热压硫化法

热压硫化法是在上下夹具间放置土工膜接头,并在接头处底部放置一段同种材料的连接段,借助于加热板对材料加热并使材料内部分子发生交联,其分子结构由线型结构变成网状的体形结构。材料受热后逐渐软化,同时材料内的水分及易挥发的物质气化,这时依靠压力系统给予足够的压力使材料充满模型,并限制气泡的生成,使土工膜连接处组织结构致密。拼接前后土工膜接头细部结构如图 1(a)所示。

热压硫化法适用于人造橡胶、天然橡胶等含硫类制品的拼接,测试表明该法拼接的土工膜连接牢固,抗拉强度及不透水性均达到母材的水平。由于该方法必须在硫化室中进行,因此只能在工厂内拼接,不适于现场作业。

#### 2.1.2 溶剂焊接法

溶剂焊接法使用的焊接溶剂一般是聚合物,在室温下可以暂时解散为聚合物链。聚合物链是自由移动的液体,通过融合可以将其他类似的溶解链中的分子链套住。拼接土工膜时,将焊接溶剂涂抹在土工膜接头处,随着溶剂的解散,土工膜接头表面逐渐膨胀和软化继而溶化成胶状。随着在接头上压力的施加,溶剂会渗透到聚合物和环境,使分子链失去其流动性形成坚实的高分子链结构,一定时间后,2 个表面拼接在一起。拼接前后土工膜接头细部结构如图 1(b)所示。

溶剂焊接法操作方便,材料性能分布均匀,外观整洁,无隐藏接头的特殊要求,可以连接热焊接时易变形或破坏的热敏性结构或材料,具有良好的密封和绝缘性。但是也存在潜在的局限性,接头中溶剂不能完全挥发,会有滞留,仅当 2 种不同材料均能溶于相同溶剂时才能较好的连接;此外,胶接固化时间相对较长不利于高效作业。

## 2.2 物理方法

### 2.2.1 胶接法

胶接法<sup>[2-5]</sup>是把化学胶接剂涂在土工膜接头处的搭接面上,根据不同的材料选取一定的胶接宽度,采用胶质滚子用力压实,利用胶接剂的粘结力形成一定厚度的均质胶接层。拼接前后土工膜接头细部结构如图 1(c)所示。

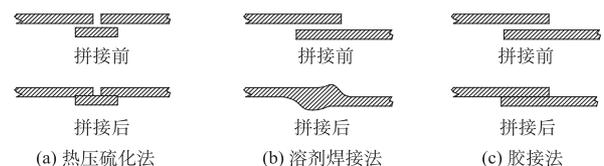


图 1 土工膜拼接前后细部结构示意图

Fig. 1 Detailed schematic of geomembrane before and after splicing

目前,根据土工膜的材质特性已经开发出相应的粘接剂,并已在许多防渗工程上使用,效果较好。胶接法具有施工简便、缩短工期、无需有专业施工技术,可以独立完成拼接施工等优点,另外,胶接法还适用于不同材料的土工膜的拼接,孙秋菊等<sup>[5]</sup>对 PVC 与 PE 膜采用热熔胶进行了粘接试验,测试结果表明粘接缝的抗拉强度达到 PVC 膜母材抗拉强度的 86.6%,效果良好,满足工程需要。但是,胶接法一般需人工完成,涂抹胶接剂的均匀度很难控制,胶接剂的固化时间和胶接质量受现场环境影响较大,胶接缝的抗拉强度一般只能达到母材的 60%~70%,因此只是在小型工程中使用。

### 2.2.2 热焊接法

热焊接的原理是通过焊接机把热量传到接头处的土工膜表面使其熔化,在溶化范围内产生分子渗透和交换熔成一体,然后通过滚轮加压,使焊接处熔融区域无明显界面。此法的技术含量和施工要求比较高,非常适用于直线长缝焊接,对土工膜、复合土工膜、HDPE 防渗膜和 LDPE 防渗膜等热塑性防渗材料都适用。按照加热方式的不同可以将热焊接法分为电热元件焊接法、热熔挤压焊接法、高温气焊法、高频热焊法、超声波焊接法、电磁感应焊接法等<sup>[6-13]</sup>,其中,电热元件焊接法又包括电热楔焊接法、电烙铁焊接法、电熨斗焊接法。

#### 2.2.2.1 电热元件焊接法

(1) 电热楔焊机法<sup>[6-9]</sup>。热楔体是通过热电阻间接加热实现膜焊接的方法,整个过程利用控制系统操作,可以依据不同的材料控制热楔温度保持恒定。焊接时利用热楔将夹在两侧的土工膜加热至熔融状态,随后熔融态的膜在轧辊的挤压下融合为一体,整个过程的示意图如图 2 所示。电热楔焊接法几乎适用于所有土工膜的焊接,接缝处材料均匀,焊缝宽度一致,工作效率比较高;但是,受温度、湿度等外界环境因素影响,操作人员的技术差异对施工质量的优劣影响较大。

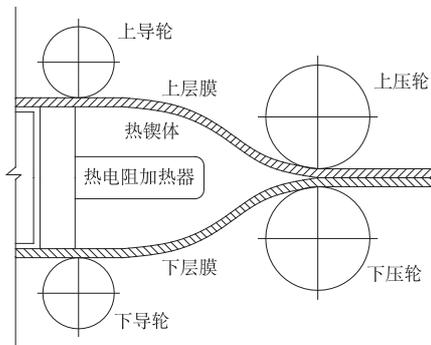


图 2 电热楔焊接  
Fig.2 Hot-wedge welding

(2) 电烙铁焊接法。该方法是利用电流的热效应直接加热焊头,然后沿着下垫木板或钢板的焊缝移动焊接机,在膜被加热熔化的同时受到来自滚筒的挤压力,搭接的两片膜被焊接成一个整体。焊接时的温度和速度视工程实际情况而定,焊接技术要求较高,焊接时须认真仔细。这种方法主要用于热塑性材料的焊接,可用于小范围的补焊。

(3) 电熨斗焊接法<sup>[10]</sup>。焊接原理与电烙铁焊接法基本相同,即采用工业用电熨斗,在布设好的木板上放置土工膜接头,搭接长度视具体材料而定,再在膜的上方铺一层白纸,待温度达到要求时,电熨斗与纸接触沿着接缝位置施焊。

这种方法较前述 2 种焊接机有以下特点:电熨斗底部接触面积较大温度更均匀;焊接过程中温度高低、速度快慢可以手工灵活掌握;缺焊、漏焊情况容易及时补焊;焊接效果可以通过纸的颜色作为反馈。但是,由于电熨斗不能智能化操控,只能人工操作,工作效率相比机械焊接稍差些。

#### 2.2.2.2 热熔挤压焊接法

热熔挤压焊接法是在热空气的作用下熔化焊条,熔化的焊条在螺杆加压器的挤压下覆盖到膜的接头处,同时借助机械设备将熔化物与熔融的膜融合为一体。热熔挤压焊接法示意图如图 3 所示,这种焊接法接头处的力学性能与土工膜自身性能差异很小。热熔挤压焊接法适用于高密度聚乙烯膜的焊接,也适用于聚乙烯膜和聚氯乙烯膜。

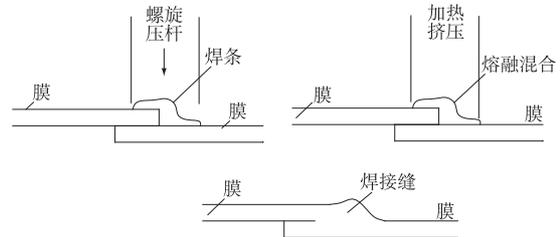


图 3 热熔挤压焊接法  
Fig.3 Hot-melt extrusion welding

#### 2.2.2.3 高温气焊法

高温气焊法<sup>[11]</sup>是在热气流的加热下将搭接的土工膜熔化,然后随着滚轮的滚压将熔融态的膜重塑,工作的示意图如图 4 所示。这种方法适用于所有热塑性材料的接缝,但是由于热气流热量较高,

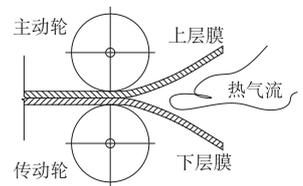


图 4 高温气焊法示意图  
Fig.4 Welding with hot air or hot gas

容易使薄膜熔成液态,因此不适于薄膜的焊接。

#### 2.2.2.4 高频热焊法

在高频热焊接<sup>[12]</sup>中,将要焊接的土工膜放置在接地底板和黄铜合金制成的上块电极之间,上块电极也可以是铝、铜或银。如图 5 所示,在接地底板和电极之间施加 1 个 27.12 MHz 的电压,这种高频率电压可以激发长链分子不断融合同时促使分子剧烈运动致使材料升温,外部提供的电能不断加速这个过程,土工膜在电极区不断加热和外部压力作用下拼接在一起,继续加压一段时间冷却。该方法适用于热塑性材料,但不适合非热塑性材料。高频热焊机一般比较笨重,适用于工厂内焊接。

#### 2.2.2.5 超声波焊接法

超声波焊接法<sup>[12]</sup>是利用机械振动仪器产生

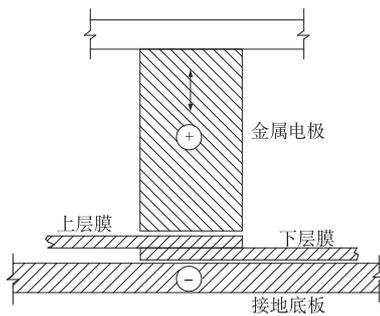


图 5 高频热焊法示意图

Fig. 5 High frequency welding

18 kHz和 500 kHz 范围内的波,然后通过超声波传递器传输到土工膜上,超声波引起土工膜材料表面发生共振,振动过程中材料表面由于摩擦产生的热量使膜被加热熔化,同时,由传递器对土工膜提供必要的挤压力,实现土工膜的重塑拼接,焊接示意图如图 6所示。超声波焊接具有很多“人性化”的优点,可以间断或连续进行焊接,可以在焊接过程中利用传感器进行实时反馈,不断调整焊接速度和温度等因素,以更好适合膜的变化;但是,由于焊接时需要接头处材料发生共振,因此只能在同种材料焊接时使用,适用于各种热塑性材料。

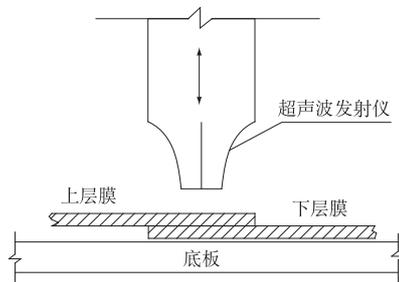


图 6 超声波焊接法

Fig. 6 Ultrasonic welding

### 2.2.2.6 电磁感应焊接法

电磁感应焊接法<sup>[12]</sup>是利用电磁感应原理进行热焊接的方法。E. O. Butts Ltd 设计的电磁感应焊接机焊接原理示意图如图 7 所示。在土工膜接头的夹缝位置放置一个磁滞性材料的导体,在导体上部需要焊接的区域放置一个通有高频电流的感应线圈

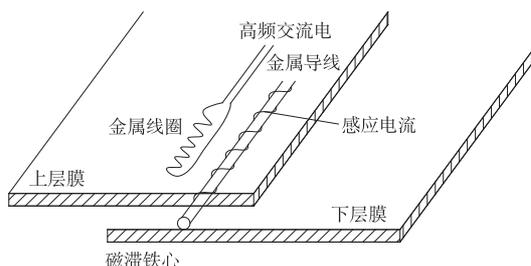


图 7 电磁感应焊接法

Fig. 7 Electromagnetic induction welding

圈,线圈中时变的磁场会诱发导体内产生涡流和磁滞损耗,涡流将导体自动加热进而将膜熔化,在压力的作用下融合为一体。焊接温度通过电流进行控制,依据材料的不同,电流的频率从 3 ~ 7 MHz 到 180 ~ 320 kHz 不等。接缝处的力学性能测试的初步结果显示:抗拉强度约为母材强度的 90%,但剥离强度很差。

## 3 存在的问题及研究的方向

通过对土工膜各种现场检测方法和拼接方法的总结,结合工程经验对每种拼接方法的工作原理、适用范围及优缺点等进行了详细的描述。随着土工膜在工程中的应用范围越来越广泛,土工膜的拼接方法和检测方法也将随之得到发展。尽管目前的化学拼接法和物理拼接法足以满足各种工程的基本要求,但是还有很多问题亟待解决:

(1) 拼接方法有待规范化。目前随着科技的进步和发展,国内很多企业已经开始生产土工膜。虽然国内外膜的生产材料大致相同,但是在土工膜的尺寸尤其是厚度等方面存在很大的差异,国外的很多拼接方法很难应用于国产的土工膜薄膜,与之相关的检测标准也很难对国内的工程实际给予准确的衡量。在膜的选择和拼接方法的选择方面,不仅缺乏工程经验作为指导,而且缺乏有效的规范作为参考。因此,亟需制定适合国产土工膜的相关工程规范,针对不同材料、厚度、宽度的产品设计不同的拼接方法和现场检测方法,并给出相应的拼接参数和评价指标。

(2) 拼接方法有待智能化。土石坝工程中膜的布设和拼接是往往大范围大面积的作业,文中提及的各种拼接工艺和方法工作效率较低,尤其是胶结法需要耗费大量的人力,同时由于施工现场复杂环境的影响,很难保证土工膜的所有拼接部位均能满足工程工程要求。而后期的质量检测仅仅是以现场抽查有损检测为主,很难实现大范围全面检测。因此很有必要探究一些智能化的设备,包括机械化胶接设备和即时检测反馈设备等,不仅能够快速方便地施工,而且可以实时监测拼接质量的好坏并及时反馈,避免后期的重复检测和修补过程,这样既能提高效率又能实现全面检测,提高拼接质量。

(3) 新的拼接方法有待探究。随着土工膜生产工艺的发展,土工膜的力学性能不断提高,土工膜使用范围已经从传统的土石坝扩展到垃圾填埋场、碾压混凝土坝和尾矿坝等工程。尤其是在尾矿坝和垃

圾填埋场的应用中,由于有毒液体和重金属物质等含量较多,对土工膜拼接部位的抗渗性能要求也就更高。此外,工程实际中有时会遇到不同材料的膜拼接、土工膜与其他类型的土工材料拼接的情况,因此有必要结合新材料、新设计及新应用探究新的土工膜拼接方法和施工工艺。

### 参考文献:

- [1] SL/T 225—98,水利水电工程土工合成材料应用技术规范[S].北京:中国标准出版社,1998.(SL/T 225—98,Standard for the Applications of Geosynthetics in Hydraulic and Hydropower Engineering[S].Beijing:Standards Press of China,1998.(in Chinese))
- [2] 《土工合成材料工程应用手册》编写委员会.土工合成材料工程应用手册(第二版)[M].北京:中国建筑工业出版社,2000:1-4.(Compilation Committee Geosynthetics Engineering Application Handbook(Second Edition)[M].Beijing:China Architecture and Building Press,2000:1-4.(in Chinese))
- [3] 顾淦臣.复合土工膜的施工和质量保证[J].水利规划与设计,2001,(1):48-55.(GU Gan-chen. Construction and Quality Assurance of Composite Geomembrane[J]. Water Resources Planning and Design,2001,(1):48-55.(in Chinese))
- [4] 黄国平,林宝玉.用于砼变形缝防渗的土工膜与胶粘剂选择[J].水电站设计,1992,(1):44-53.(HUANG Guo-ping, LIN Bao-yu. Selection of Geomembrane and Adhesive for Concrete's Deformation Joint[J]. Design of Hydroelectric Power Station,1992,(1):44-53.(in Chinese))
- [5] 孙秋菊,白建颖.土工膜拼接试验研究[J].上海水务,2003,(2):4-7.(SUN Qiu-ju, BAI Jian-ying. Research on Tests of Geomembrane Splicing[J]. Shanghai Water,2003,(2):4-7.(in Chinese))
- [6] 冯雁.大宁水库土石坝复合土工膜防渗关键技术[D].北京:清华大学,2010.(FENG Yan. Key Techniques of Earth Dam Using Composite Geotechnical Film as Seepage Prevention for Daning Reservoir[D]. Beijing: Tsinghua University,2010.(in Chinese))
- [7] 陈改新,黄国兴,纪国晋.热楔式土工膜焊机的焊接工艺研究[J].水利水电技术,2000,7(7):19-21.(CHEN Gai-xin, HUANG Guo-xing, JI Guo-jin. A Study on the Welding Technique of a Hot-Wedge-Fashion Geomembrane Welder[J]. Water Resources and Hydropower Engineering,2000,7(7):19-21.(in Chinese))
- [8] 石汉生,郭武山,刘海伟.PVC复合土工膜焊接法施工[J].人民长江,2001,32(11):48-49.(SHI Han-sheng, GUO Wu-shan, LIU Hai-wei. Welding Methods of Composite Geomembrane in Construction[J]. Yangtze River,2001,32(11):48-49.(in Chinese))
- [9] KOLBASUK G M. Hot Wedge Fusion Welding of HDPE Geomembranes[J]. Geotextiles and Geomembranes,1990,9(4/6):305-317.
- [10] 李有林,王滨生,张艳文.土工膜焊接新工艺[J].黑龙江水利科技,1999,(1):91-93.(LI You-lin, WANG Bin-sheng, ZHANG Yan-wen. New Splicing Methods of Geomembrane[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy,1999,(1):91-93.(in Chinese))
- [11] KO F K. Seaming and Joining Methods[J]. Geotextiles and Geomembranes,1987,6(1/3):93-107.
- [12] LORD A E, HALSE Y H, KOERNER R M, et al. Emerging Methods for Geomembrane Seaming[J]. Geotextiles and Geomembranes,1990,9(4/6):357-367.
- [13] 金东元.防渗膜焊接法施工工序的探讨[J].黑龙江水利科技,2010,(1):226-227.(JIN Dong-yuan. Discussion of Welding Process for Impermeable Membrane[J]. Heilongjiang Science and Technology of Water Conservancy,2010,(1):226-227.(in Chinese))

(编辑:曾小汉)

## Techniques of Splicing Waterproof Geomembrane for Earth Rock Dams

REN Ze-dong<sup>1</sup>, YU Cheng-liang<sup>1</sup>, ZHANG Peng<sup>2</sup>, ZHU Kai<sup>1</sup>, ZHANG Nan-nan<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Hydropower Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China;  
2. College of Civil and Transportation Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** There are various kinds of waterproof geomembrane materials for earth rock dams. Due to the limitations of production process, the geomembranes have to be spliced when layed in a large area. Firstly, the principles and technical requirements for the on-site inspection of splicing quality are discussed with reference to the specifications. Research achievements of splicing geomembrane in China and abroad are summarized. What's more, the splicing techniques are divided into physical methods and chemical methods. The working principle, application scope, advantages and defects of each method are presented in detail. Finally, problems in the current research are put forward.

**Key words:** waterproof geomembrane; inspection methods; splicing methods; research achievements