

大口径离轴非球面镜预应力环抛技术取得突破

国际天文界在研制成功 8-10 米级望远镜的基础上,已开始 30 米级极大口径光学/红外望远镜建设,一架 30 米口径的望远镜集光面积,几乎与现有 8-10 米级望远镜总和相当。极大口径光学/红外望远镜的主镜,一般由数百块口径 1 到 2 米的离轴非球面子镜拼接而成。由于子镜口径大,精度高,其研制技术成为所有极大望远镜必须攻克的难题。从 KECK、GTC 等 10 米望远镜研制中发展的预应力镜面加工技术只能应用于 10 米望远镜 30 余块子镜的研制,而巨型望远镜的子镜数量为 10 米望远镜的几十倍,沿用此技术需要很长的加工时间,无法满足科学和工程需求。当前国外多家公司正在开展此项研究,多数是通过同型号设备的堆积实现量化增加和周期缩短,并无新的技术突破。

南京天文光学技术研究所在国家自然科学基金委资助下,首先提出预应力环抛技术概念并开展了相关研究,该项技术的基础是预应力镜面加工技术和大口径镜面环抛技术。利用预应力技术,可以改变离轴非球面磨制方式,同时避免了小磨头带来的高频误差;利用环抛技术,可以同时磨制多块子镜,大大提高了磨制效率;上述两种技术有机融合,能同时满足大批量子镜高面型精度和高磨制效率的要求。

基于中国极大口径光学望远镜的设计,2009 年技术人员磨制了一块离轴抛物面,顶点曲率半径 21.6 米,离轴量 3.6 米,离轴口径 $\Phi 330\text{mm}$,达到了比较理想的效果。图 1 给出了相关结果。连续抛光大约 40 小时以后,镜面误差趋于恒定,其均方值为 0.327λ 。经过最终修抛并切成正六边形以后,表面误差的均方值优于 0.02λ 。

本方法引起了美国 TMT 项目的重视,在国家天文台协调下与 TMT 项目合作开展了批量离轴非球面磨制方法的试验。利用现有的 3.6 米环抛设备,研制了 1 米级子镜的预应力加载装置和检验设施,于 2014 年底完成了两块口径为 1.1 米的 TMT 主镜缩比子镜研制,两块子镜离轴量分别为 8 米和 12 米,对应 TMT 主镜上不同区域的子镜,在较短时间的预应力环抛工序后,均达到了 TMT 项目子镜第一阶段

的研制要求（结果如图 2）。在 2015 年 3 月的评估会上，该研究结果得到了 TMT 项目的认可（见图 3）。

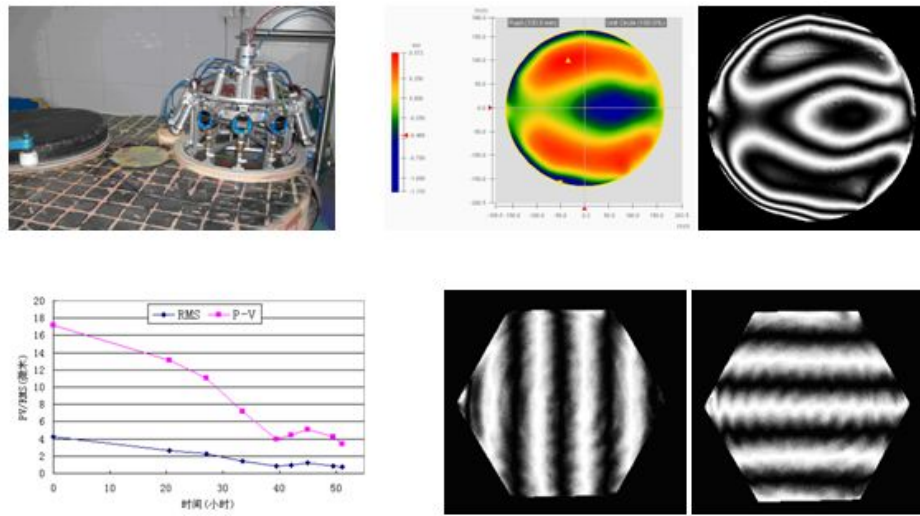


图 1.左上图为预应力环抛试验，右上图为预应力环抛结果。左下图为镜面抛光收敛过程示意图，右下图为切成六边形镜面干涉条纹。

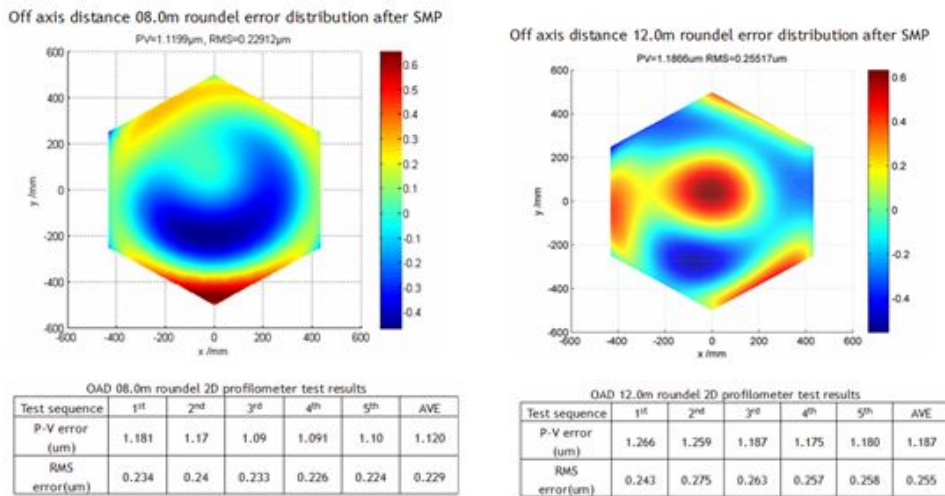


图 2 离轴量分别为 8 米和 12 米的两块试验镜的抛光结果

Prof. Li and his team should be congratulated on their significant accomplishment. The TMT specification is difficult and the polishing approach you are developing is state-of-the-art. Similar segment polishing approaches were attempted by two large optical fabrication companies several years ago. They had limited success with the approach and they never succeeded in producing segments meeting the TMT requirements.

图 3 摘自进展评估报告

高精度非球面子镜研制是极大口径光学望远镜研制的核心技术之一，预应力环抛技术对于研制下一代极大口径光学望远镜具有重要意义，本技术同时也可应用于其他有批量非球面研制需求的行业。