

古代十字弓構造分析與教具開發

蕭國鴻、林婕雅

國立科學工藝博物館展示組

E-mail: khhsiao@mail.nstm.gov.tw

一、前言

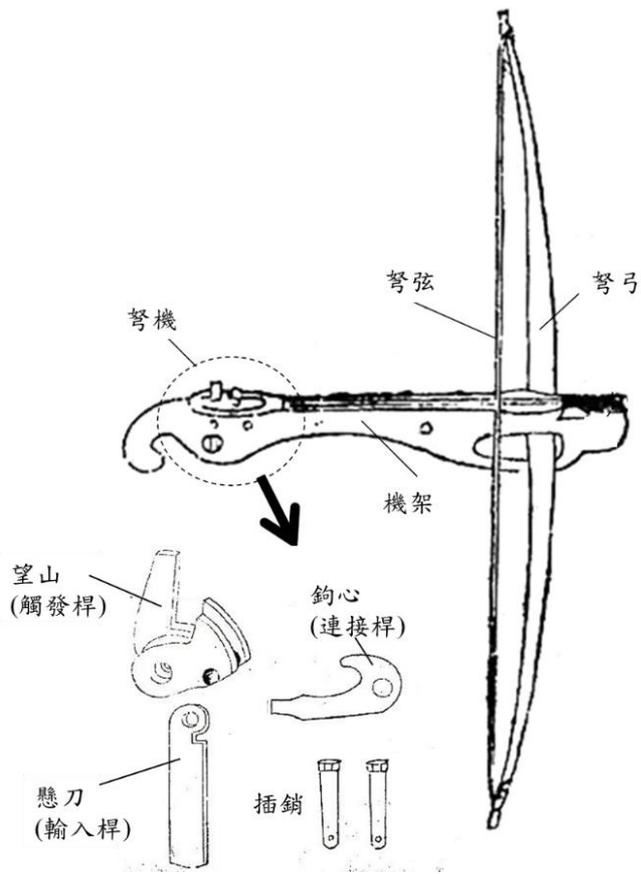
古代稱為弩的十字弓，是由原始弓演變而來，可以將弓的力量延時發射的進化版武器，弩是通過在原始弓上添加機架和弩機（板機機構）開發而成，發射過程包含拉弓弦、置弓箭、釋弓弦、射弓箭等四步驟。公元前6世紀，弩的製造技術已經十分成熟，並有許多不同的類型，如傳統弩、楚國連發、及諸葛連發弩。本文簡介古代十字弓發展史、進行三種十字弓的構造分析、及介紹開發之DIY教具。

二、傳統弩

傳統弩的核心技術是由青銅製成的弩機，其作用是拉伸弓弦，保持弓和弓弦內部的彈性能量，而以弩機拉緊弓弦，有利於弓箭的瞄準，每次可射出一支箭。這樣的發展改進了以前必須用人力拉動弓弦，從而解決射箭者無法長時間瞄準及射擊不準確的兩個問題。

在春秋時期（公元前770-476年），傳統弩已被廣泛使用，有很多古代文獻記載了關於傳統弩的資訊，在戰國時期（公元前475-221年），它在戰爭中發揮了重要作用。傳統弩最早的文獻記錄於公元前498年的《孫子兵法》，目前最古老的弩機則是出土在山東省曲阜市，可追溯到公元前6世紀。

傳統弩的設計原理與機械構造相當值得研究與探討，它結合了凸輪機構與撓性傳動機構，其機件包含機架、弩弓、弩弦、及弩機。機架上裝設的弩機屬於凸輪機構，是十字弓的核心裝置，用於勾住拉緊的弩弦，其組成主要包含懸刀（輸入桿）、望山（觸發桿）、鈎心（連接桿）、及兩根插銷。十字弓透過機架、輸入桿、觸發桿、及連接桿之間的巧妙幾何形狀及運動學的關係，可以穩定的勾住弩弦及儲存弩弦的能量。射擊時，射手可以藉由望山與箭頭所連成的點和線來瞄準目標，並用手指扣壓輸入桿，帶動連接桿與觸發桿轉動，進而釋放弩弦及發射弩箭。圖1(a-b)所示分別為古書的原圖及傳世的弩機文物，圖1(c)則為開發之具有飛鷹造型的DIY教具。



(a) 古書插圖



(b) 弩機文物



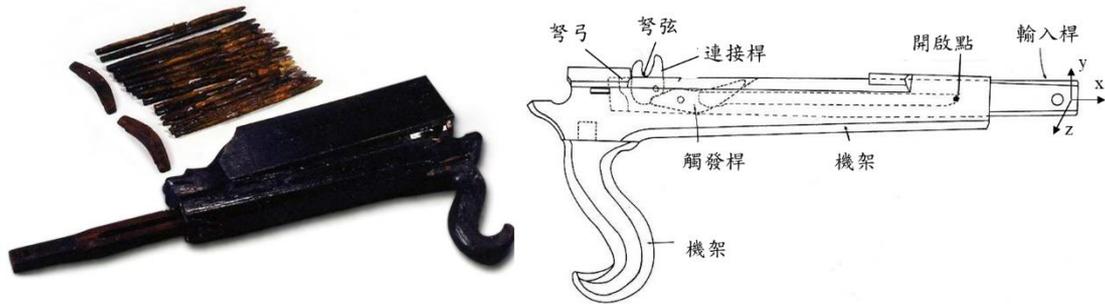
(c) DIY 教具

圖 1 標準弩

三、楚國連發弩

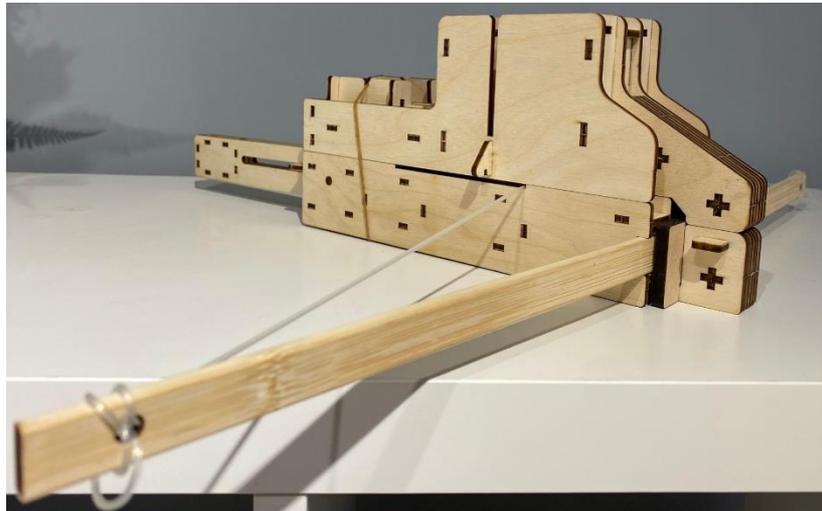
隨著準確度的提升，進一步希望可以增加射箭的效率，因此產生可以藉由操作輸入桿，直接完成四個射箭步驟的連發弩。根據考古發現，最早的連發弩出土於中國湖北省江陵縣，

可追溯至公元前 400 年，如圖 2 所示。由於無文獻記錄，因出土隸屬於戰國時期的楚國境內，故名楚國連發弩，其組成包含機架、弩弓、弩弦、輸入桿、觸發桿、及連接桿。箭匣固定於機架上，內裝有 20 支箭，依序排列在二個弓箭通道中，每次射出 2 支箭。觸發桿與連接桿巧妙裝置於輸入桿上，推動輸入桿往前，連接桿勾住弓弦；拉動輸入桿往後，使觸發桿接觸機架上的開啟點，進而釋放弓弦射箭，箭匣的弓箭因重力依序落下，等待擊發。



(a) 實物裝置

(b) 運動簡圖

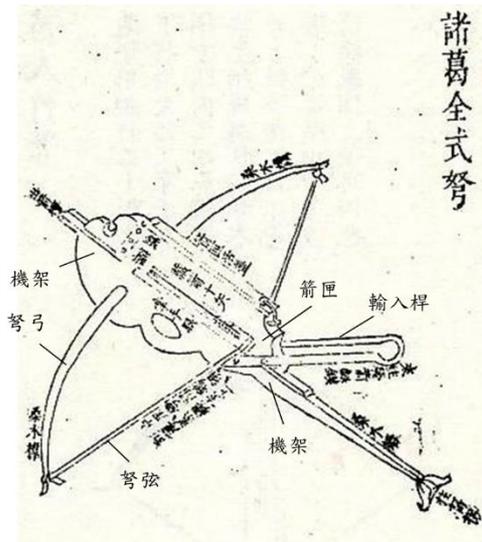


(c) DIY 教具

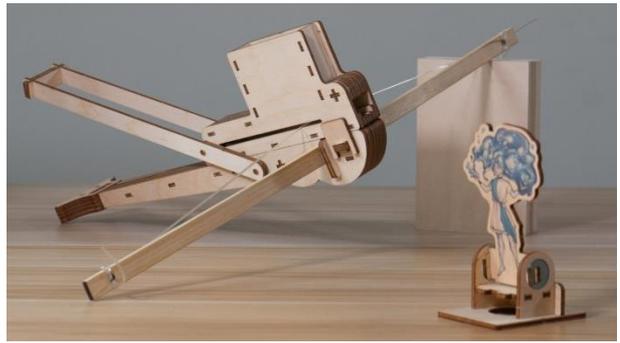
圖 2 楚國連發弩

四、諸葛連發弩

《三國志》中記載另一類型的連發弩：『損益連弩，謂之「元戎」，以鐵為箭，長八寸，一弩十箭俱發。』又傳諸葛亮(AD 181-234)為發明者，因此後人稱此裝置為諸葛連發弩。圖 3 所示者為《武備志》中的諸葛連發弩，其組成包含機架、弩弓、弩弓、輸入桿、及箭匣。經由輸入桿的搖擺運動，使得箭匣產生往復運動，達到勾住弓弦與釋放弓弦的作用。由於諸葛連發弩的射程較短，需於箭頭塗上毒藥，以增加攻擊威力。宋朝(AD 960-1219)之後，諸葛連發弩為軍隊的標準配備，直到甲午戰爭(AD 1894-1895)，清朝(AD 1644-1911)士兵仍在使用。諸葛連發弩發明之後，基本構造上並無太多改變，成為歷史悠久的機械武器之一。



(a) 古書插圖



(b) DIY 教具

圖 3 諸葛連發弩

五、結論

原始的弓箭、傳統弩與諸葛連發弩在歷史發展中皆扮演了重要角色，而楚國連發弩則是目前考古發現中最早能連續發射弓箭的精巧發明。此外，十字弓作為原始弓箭的延伸與應用，不僅展現了機械設計、運動學與力學分析的巧妙結合，更是一個具研究價值的跨領域案例。透過對十字弓的研究與學習，能深入剖析其效能與作動原理，並比較不同設計間的異同，進一步促進 DIY 教具的開發與課程推廣。除此之外，十字弓的研究成果亦能轉化為科學玩具與文創商品，為民眾提供嶄新的學習與收藏選擇。

延伸學習

一、十字弓教具影片：<https://youtu.be/GKBqe-RWubo?si=6AjHB4nD1NKGI3hh>

二、發表專書連結：<http://www.springer.com/978-3-319-02008-2>