動力傳動 · 干涉配合 · 鍵 · 栓槽 · 技術參考文件 · 公開

軸轂 連接

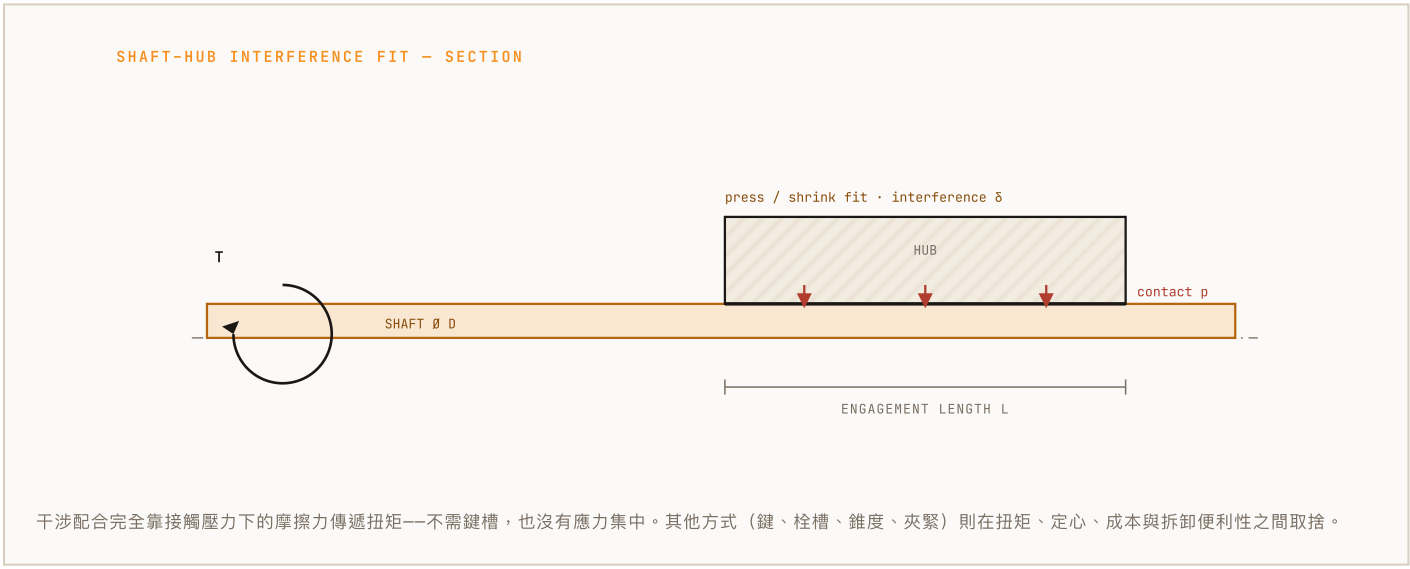
如何把扭矩從軸傳入輪轂——干涉配合、鍵、栓槽、錐度配合與夾緊式輪轂——各自可傳遞的扭矩、優缺點取捨，以及尺寸設計方法。

修訂	發行	負責	附件
1.0	June 2026	Ideambox 工程團隊	PDF 技術參考

摘要

軸轂連接用於在旋轉軸與齒輪、皮帶輪、鏈輪或聯軸器之間傳遞扭矩（有時也傳遞軸向力）。在干涉配合、鍵、栓槽、錐度配合、止付螺絲或夾緊式輪轂之間的選擇，是在扭矩容量、定心精度、組裝 / 拆卸難易度、對軸的損傷與成本之間取捨。

第 1 節比較各種方式。第 2 節探討干涉配合（壓入 / 熱套）及其扭矩。第 3 節探討鍵與鍵槽。第 4 節探討栓槽。第 5 節探討錐度配合、夾緊式輪轂、無鍵鎖緊襯套與止付螺絲。第 6 節為選用檢核清單。



干涉配合完全靠接觸壓力下的摩擦力傳遞扭矩——不需鍵槽，也沒有應力集中。其他方式（鍵、栓槽、錐度、夾緊）則在扭矩、定心、成本與拆卸便利性之間取捨。

目錄

1. 各種方式比較
2. 干涉配合（壓入 / 熱套）
3. 鍵與鍵槽
4. 栓槽
5. 錐度配合、夾緊式輪轂與無鍵襯套
6. 選用檢核清單

1. 各種方式比較

方式	扭矩	定心	組裝 / 拆卸	對軸的損傷	備註
干涉配合（壓入 / 熱套）	高	極佳	困難（需壓床 / 加熱）	無	乾淨、無應力集中；需要壓力或加熱
平鍵 + 鍵槽	中–高	良好	容易	鍵槽（應力集中）	便宜、標準化，是預設選擇
栓槽	非常高	極佳	容易（軸向滑入）	無額外損傷	多齒分擔負荷；加工成本高
錐度配合（+ 螺帽）	高	極佳	中等	無	自動定心、精密、可拆卸
夾緊式 / 剖分式輪轂	中	良好	非常容易	無	可重新定位；軸不需加工
無鍵鎖緊襯套 / 脹緊盤	非常高	良好	中等	無	不需鍵槽即可傳遞高扭矩
止付螺絲（鎖在平面上）	低	差	非常容易	刮傷軸	僅限輕負荷；需銑平面

1.1 名詞

干涉量（δ）	組裝前軸徑比孔徑大多少
接觸壓力（p）	配合界面上的徑向壓力（由 Lamé 方程式求得）
嵌合長度（L）	軸與輪轂的軸向重疊長度——扭矩與其成正比
輪轂直徑比	輪轂外徑 / 內徑——薄輪轂較早達到環向應力極限

2. 干涉配合（壓入 / 熱套）

軸徑做得比孔徑稍大；組裝後產生接觸壓力 **p**（由干涉量 δ 與 Lamé 厚壁圓筒方程式求得，需考慮輪轂幾何及兩材料的 E 與 ν）。該壓力下的摩擦力承受負荷：

- **扭矩** $T = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot D^2 \cdot L / 2$
- **軸向推出力** $F = \mu \cdot p \cdot \pi \cdot D \cdot L$

其中 D 為配合直徑，L 為嵌合長度，μ 為摩擦係數（乾燥鋼材 ≈0.1–0.15；壓入時塗油則較低）。可使用*壓入配合干涉量*工具，由 δ 求得 p、T 與 F。

- **以 ISO 286 公差配合標示：** 輕壓入 `H7/p6`、中壓入 `H7/s6`、重壓入 `H7/u6`。干涉量越大 → 扭矩越大，但輪轂環向應力也越大（須檢核輪轂不降伏），組裝力也越大。
- **熱套 / 冷縮配合**（加熱輪轂或冷卻軸）可用很小的組裝力達到相同干涉量，並具完整保持力——最適合大尺寸或大干涉量的配合。
- **表面粗糙度很重要：** 粗糙表面在組裝時會被壓平，因此*有效*干涉量小於量測值——依名目尺寸訂定的配合，在粗糙表面上會高估扭矩。

3. 鍵與鍵槽

在軸與輪轂相對應的鍵槽中裝入平鍵（正方形 / 矩形），是標準且便宜的方式。尺寸須確保鍵不會剪斷或壓潰，並須注意鍵槽在軸上屬於疲勞應力集中處。

- **剪切：** 鍵寬 × 鍵長在鍵的剪切面上承受 `F = 2T/D`。
- **承壓 / 擠壓：** 鍵側面壓在鍵槽壁上通常才是限制條件；也須一併檢核。
- **標準尺寸（DIN 6885，依軸徑選用鍵 b × h）：**

軸徑 Ø (mm)	鍵 B × H	軸徑 Ø (mm)	鍵 B × H
10–12	4 × 4	30–38	10 × 8
12–17	5 × 5	38–44	12 × 8
17–22	6 × 6	44–50	14 × 9
22–30	8 × 7	50–58	16 × 10

軸上加工的鍵槽會提高局部應力（Kt ≈ 2–3）——對正反轉或重負荷的軸是疲勞隱憂。在疲勞為主導條件時，鍵槽末端應採用較大圓角，或改用無鍵方式。

4. 栓槽

栓槽相當於直接在軸上加工出的多個鍵，負荷由所有齒分擔——扭矩遠高於單一鍵、定心更好，也沒有會被剪斷的獨立零件。

- **直邊齒**（較舊、簡單）與**漸開線齒**（強度較高、自動定心、較容易以量規管控製造）——漸開線齒是現代的預設選擇。
- 可在傳遞扭矩的同時**於負荷下軸向滑動**（例如傳動軸、換檔機構）。
- 製造成本較高（拉削 / 滾齒），因此僅用於高扭矩或需滑動的場合。

5. 錐度配合、夾緊式輪轂與無鍵襯套

- **錐度配合（+ 固定螺帽）：** 錐形軸 / 孔可精密自動定心，並靠摩擦力鎖緊；可拆卸。常見於工具主軸與曲軸皮帶輪。
  - 錐度軸轂連接的扭矩：螺帽的軸向力 F_a 壓緊錐面，產生正向力 $F_N = F_a / (\sin(\alpha/2) + \mu \cdot \cos(\alpha/2))$ 與摩擦扭矩 $T = \mu \cdot F_N \cdot d_m / 2$（$\alpha$ = 錐角全角，d_m = 錐面平均直徑，乾燥鋼材 $\mu \approx 0.10$–0.15）。
  - 標準錐形軸端為 **1:10**（DIN 1448 / ISO 775）：$\alpha/2 \approx 2.86°$，因此 $\tan(\alpha/2) \approx 0.05 < \mu$，壓入後即可自鎖；拆卸需使用拉拔器。
  - 範例：$d_m = 30$ mm、$F_a = 20$ kN、$\mu = 0.12$ → $F_N \approx 118$ kN → $T \approx 210$ N·m。錐度上的鍵用於輪轂的角度定位；錐度正確鎖緊時，鍵應只承擔很小一部分扭矩。
- **夾緊式 / 剖分式輪轂：** 開槽的輪轂以螺絲夾緊，靠摩擦力抓住軸——軸不需加工，可無段重新定位；扭矩中等。非常適合原型與可調整的機構。
- **無鍵鎖緊襯套 / 脹緊盤：** 錐形環鎖緊時將輪轂與軸夾緊，可傳遞非常高的扭矩，且無鍵槽、無疲勞缺口——用於鍵會疲勞破壞的場合。
- **止付螺絲：** 僅限輕負荷；務必鎖在**平面**上（或使用圓柱端（定位端）插入孔中），以免刮傷軸並打滑。兩支呈 90° 配置的螺絲比一支更能抵抗鬆脫。

6. 選用檢核清單

- **扭矩**——穩態值，加上正反轉或衝擊峰值（這些會促使選用無鍵或栓槽方式）。
- **定心 / 偏擺**——干涉配合、錐度與栓槽定心最好；止付螺絲最差。
- **軸向行為**——輪轂需要滑動（栓槽）還是固定定位（配合 / 鍵 / 螺帽）？
- **組裝 / 拆卸**——維修可及性與頻率：需易拆卸選夾緊式 / 無鍵，永久固定選配合。
- **對軸的損傷**——疲勞關鍵或已淬硬的軸，避免鍵槽 / 止付螺絲壓痕（改用無鍵方式）。
- **成本**——鍵最便宜；栓槽與無鍵襯套最貴。
- **接著：** 進行尺寸設計（干涉配合用壓入配合工具；鍵依剪切 + 承壓；栓槽 / 無鍵依供應商額定扭矩），並檢核任何鍵槽處的軸疲勞。

This document is also a web page, kept up to date:
https://ideambox.com/zh-hant/downloads/shaft-hub-connections/

Designing something that needs this? ideambox.com/contact