

每一天，我們坐的高鐵都在跟鳥和空氣作戰



每年，全國高鐵要清理超過20萬個鳥窩，拆掉一個鳥窩平均成本上千元。有人曾嘗試用大風扇把鳥窩從高鐵接觸網上吹走，可鳥類是天生的建築專家，它們搭的窩非常符合工程力學。

車速不高時，列車前進就像人在微風中行走，幾乎感受不到阻力。但當列車時速在300公裏以上，讓時速每提高20公裏，困難程度就好比讓奧運會的一個“百米飛人”跑進10秒後，將速度再提高0.01秒。

一位心細的高鐵乘客如果向窗外留意，天氣和運氣都不錯的話，可以看到，架在半空的輸電線路上，有時會挂着一條塑料蛇、一個“蜘蛛俠”玩偶，或者生雞爪之類的奇怪物件。

現代高鐵採用的這種自保方式與農田裏的稻草人在原理上別無二致：對鳥類產生震懾力。

每一天，全世界的鐵路工人和電力工人都在與鳥類作不屈不撓的鬥爭。北京鐵路局集團工人楊紅杰說，他們經常要利用凌晨時間去清理電線上的樹枝、絲綫以及鳥巢。

沿着鐵路架設的輸電線路又稱接觸網，很多鳥兒喜歡在這種高壓電流通過的網上築巢。

每年，全國高鐵線要清理超過20萬個鳥巢，鐵路牽引供電系統專家王立天說。他是天津中鐵電氣化設計研究院首席專家、總工程師。他供職的單位參與了中國高鐵誕生以來的設計、建設和發展。

王立天對記者解釋，鳥類尤其讓人頭疼。堅固的接觸網是它們理想的安家之所。鳥兒不辭勞苦銜來的樹枝、鐵絲、草秆，統統都會成爲良好的導體，可能導致短路，進而帶來停電和停運。

其他威脅還包括被風吹上天的農用地膜、彩鋼板、防塵網、菜市場的塑料包裝袋，以及斷線風箏的細綫。2021年5月1日，河北定州的一塊舊塑料布被風卷到接觸網上，導致北京至廣州的高鐵連鎖反應式的大面積延誤。這只是眾多同類事件中的一起。

多年以來，王立天的工作就是與那些阻擋鐵路前進的障礙對抗。

中國逐漸鋪開高鐵線路以後，他的“敵人”多了一個：空氣。

簡單來說，用電驅動一列火車與點亮一盞臺燈的過程差不多：國家電網提供穩定的電流，電綫把它送到頭頂，一個龐然大物獲得了動力。

火車通過車頂的弓形裝置“受電弓”——相當於“插頭”，來與頭頂的電綫接觸。工程師們讓受電弓和接觸網“握手”，以此使列車獲得動力。

接觸網不是一張網，除去一些零件和支撐裝置，它其實是一根直徑1.4厘米左右的導綫，懸掛在鐵軌上方6米高的半空。列車經過時，受電弓“伸出手”，滑過導綫，把電流引入車內。

140多年前，電氣化鐵路在英國誕生，自此之後，工程師對改善弓網關係的研究就沒有停止過。正如自從有了鐵路，對車輪與軌道的持續改進就永無止境。

但在慢吞吞的綠皮火車時代，空氣並不是需要特別考慮的障礙。車速不高時，列車前進就像人在微風中行走，幾乎感受不到阻力。

但當列車時速在300公裏以上，讓時速每提高20公裏，王立天打比方說，困難程度就好比讓奧運會的一個“百米飛人”跑進10秒後，將速度再提高0.01秒。

列車時速在250公裏以下時，常用的純銅導綫就可以帶來足夠的動力。而時速300

公裏以上時，情形不一樣了，空氣阻力急速攀升，如同人置身于八級以上大風中逆行。

擺脫阻力的辦法就是給高鐵送去更大的牽引力。功率加大，瞬時穿過導綫的電流成倍增加，但導綫並不能加粗，“否則將帶來一系列複雜的工程問題”，王立天說，這種情況下，純銅導綫不夠用，必須找到導電率更高的電綫。

中國高鐵的設計時速是從200多公裏一步邁入350公裏的。2008年，北京和天津之間時速350公裏的城際鐵路通車，被視爲中國邁入高鐵時代的起點。

高速帶來很多意想不到的麻煩。列車舉着受電弓，以每秒100米的速度滑過上方導綫時，前弓向上抬升摩擦導綫，會引起共振產生振波，振波又沿導綫傳到後弓。當列車跑得比振波還快，導綫就會在受電弓表面上下跳躍，無法穩定獲取電力，“一旦弓網脫離，輕則摩擦出電火花，重則出現安全事故”。據王立天介紹，導綫振動波的傳播速度要達到車速的1.4倍以上，才能讓弓網保持緊密接觸，這就需要導綫更大的張力、更高的強度。

嚴格來說，列車的運行速度取決於這條電綫——一個公認的結論是，導綫的電導率和強度決定了接觸網載流能力和張力的極限，也就決定了最高車速。

但問題在於，按照金屬材料的物理性質，電導率和強度是成反比的，同一種材料，要想提高一方面的性能，就必須犧牲另一方面。

王立天要挑戰這個物理學原理，同時提高兩個反向指標。那就要給金屬“加點料”——把不同金屬“揉”在一起形成新的合金，改變原有的物理性質。

京津城際鐵路通車，日本東海道新幹綫已開行了半個世紀。爲了給京津城際鐵路選出一條能滿足350公裏時速的導綫，王立天作爲當時的鐵道部認定的高鐵牽引供電領域的主談專家，與當時擁有先進高鐵技術的日本、法國、德國專家一起坐到談判桌邊。

德法專家推薦的是當時國際上比較流行的鎂銅合金導綫，日本專家拿出的是銅包鋼導綫。前者的抗拉強度470兆帕，導電率62%；後者強度高達580兆帕，可導電率祇有50%。王立天對兩種都不怎麼滿意。銅包鋼導綫的導電率太低，無法滿足中國高鐵列車編組長、載重大對動力的需求；而國際先進的銅鎂導綫在350公裏時速已達安全極限，未來再提速，必須要研發出更高強度、更高導電率的下一代導綫。

最終中標的是德國人，王立天等中方專家配合稱方完成了電力系統的設計。但日本人稱，他們正在研究更高強度、更高導電率的鎂銅導綫，祇是不能賣給中國，一小段樣品都不行。

這段談判經歷讓王立天感到強烈震撼，他形容“那是一種很深的屈辱感”。他體會到，最好的技術，花錢也買不來。中國要發展，必須自力更生、科技自強，別無他法。

查閱了大量國際前沿學術研究之後，王立天發現，各國都在投入巨資研究銅鎂鎢接觸網導綫，這是高鐵牽引供電技術中公認的難題。

他開始在國內各高校和科研院所走訪。得知浙江大學教授孟亮研究出一種高強高導材料，王立天當天下午就坐到了孟亮辦公室的椅子上。

那是一根銀銅合金導綫，教授對數據很滿意——導電率90%、強度接近900兆帕。王立天一看，心涼了半截。這根導綫中，銀占比達30%，這意味着成本極高，根本無法

大範圍應用。

“工程導綫必須便宜，是吧？”王立天直截了當說，“鎂銅導綫能不能研究出來？”

教授回答：特別難。鎂和鎢是金屬裏特別容易揮發的元素，一碰到其他元素，它很輕易就會與之發生化學反應。王立天對記者解釋，“比如氧氣、氮氣、氫氣……（它）跟空氣中所有的元素幾乎都能發生化學反應”，這就導致冶煉過程很困難，“還沒煉，它基本上就揮發掉了。”

孟亮知道高強高導是全世界研究者的目標，但當時並不清楚到底能幹什麼用。

“我想把這根導綫用到中國高鐵上”，王立天講起自己之前與國外代表談判的經歷。成天在實驗室埋頭與金屬元素打交道的孟亮抬起頭，盯着他看了幾秒鐘，說，“那我們試一試。”

半年後，一根指標很漂亮的鎂銅導綫在實驗室誕生了。“我當時興奮得不得了。”王立天回憶。不過他很快發現，那基本上是一場空歡喜，因爲實驗室研究和實現產業化“相差了十萬八千里”，“假如說產業化要走100步，那麼實驗室可能祇走了前面5步到10步。”

沒人知道去哪兒能找到一個工廠，把這根導綫生產出來。

當時不存在那樣一個工廠：擁有足夠大且耐超高溫的各種冶煉爐、冷卻結晶器及高強度的模具。而這是生產單根1500米長且零缺陷的超長導綫不可或缺的。

在河北邢臺的一家工廠，王立天帶着一群年輕技術員從各種生產工具開始設計。這位電化院的總工程師成了守在加工爐邊時間最長的人。

在他眼裏，把幾十噸重的銅和其他金屬冶煉加工成細細長長的電綫，其實與做一碗麵條的工序大體相同。

他做出一個打雞蛋的動作來演示和面的過程，“如果把雞蛋加到面粉裏，和出來的面就更勁道，這其實就是加雜質的過程，目的是強化，我們加入鎂和鎢，這是第一步。”

他開始“揉面”，“面要使勁揉，把裏面的面疙瘩都揉開”。對金屬而言，就是要讓裏面的結晶體在擠壓後變得更小，拉出來的“麵條”就能更加光滑。

接下來是關鍵一步——讓導電率和強度同時改善，這支團隊提出了析出強化是實現銅合金高強高導的思路。這個過程，如同把麵條放進開水裏煮熟。

原本鎂鎢三種元素混在一起的“金屬麵條”，經過2個小時以上400攝氏度高溫加熱，其中鎂和鎢達到飽和析出，金屬原子重新整齊地排在一起，就像鋼筋混凝土中一根根鋼筋彼此相連，支撐起合金的整體強度；而銅金屬則變得更加純淨，讓電子可以順暢地快速通過。

來自麵條的靈感，讓這支團隊走出了一條與國外傳統鑄造工藝完全不同的辦法，獨創了銅鎂鎢導綫“連鑄連擠連拉”制備技術。他們不斷嘗試簡化制作流程，讓工藝更優、成本更低。

設計者們遇到了各種意想不到的困難。他們不得不逐一設計出塞滿整整一個工廠的裝備，那些大家伙都是生產小小導綫必不可少的。

爲了給真空冶煉爐找到合適的材料做爐壁，他們幾乎把全世界能找到的材料都試了一遍。花了200萬元定做的透熱爐，剛放進第一根金屬棒，溫度升至900攝氏度時，金屬棒突然加速旋轉，瞬間把爐子打碎，支離破碎的殘骸四處飛濺。

越來越多人提出質疑，覺得這條路走不通。有同行冷嘲熱諷，認爲“王立天就是在忽悠”；團隊裏的一些年輕博士、碩士也紛紛離開。一位年輕人臨走前問王立天，“日本人已經幹了20年了，到現在還沒上綫，我們中國人能幹出來嗎？”

他沒有回答。如今回過頭來看，很多當初看起來無法解決的難題，不過是捅破一層窗戶紙的事。

王立天“捅破窗戶紙”那天，差點丟了性命。實驗做到了深夜，零點過後，突然有技術人員跑去告訴他，結晶器漏水了。如果水進入爐子，碰到1000多攝氏度高溫，會迅速分解成氫氣和氧氣，發生爆炸，整個樓都會炸掉，每個人都死無葬身之地。他們跑過去一看，吃了一驚，漏水的結晶器意外地拉出了一段非常光滑的電綫。

王立天跟廠長商量，“我們再等5到10分鐘，看看能不能出來好東西。”作出這個決定時，站在上千攝氏度高溫的爐子旁，他感到後背發涼，“要麼就成了，要麼就炸上西天”。沒人說話，也沒人離開。最後產生的

那一段電綫，檢測結果顯示所有指標都達到預期。

他們意識到，原來是結晶器設計的水場分布不合理，而漏水恰好使得水路重新分布，陰錯陽差帶着他們走出困境。

此時，距離截止日期祇剩2個月，團隊幾乎已經被逼到懸崖邊上。按照計劃，他們希望這條導綫在2010年的京滬高鐵先導段上使用。

當時40歲出頭的王立天，頭發白了很多，“頭發大把掉，人老得沒法看”。看着價值上千萬元的銅一次次變成廢料，他對身邊的廠長開玩笑，“真做不成，咱倆祇能一起跳樓了”。

還有些代價是無法挽回的。因爲遲遲做不出合適的導綫，孟亮教授急得突發腦出血，做了開顱手術才保住性命。

一位大學剛畢業的小伙子，操作時不慎把手卷入金屬削皮機裏，“當場四個指頭都沒了”。

王立天向後靠向椅背，深深嘆了一口氣，“有時候總覺得欠別人的情。”

2010年，這根鎂銅導綫被用于京滬先導段，推動着中國高鐵跑出了486.1公裏的當時世界最高時速。幾乎同一時間，日本研發的同類導綫也上綫運行。

“他們用了18年，我們不到4年，而且成本更低。”王立天說，研發鎂銅導綫的同時，團隊按照創新工藝同步研發了國產鎂銅導綫，以及與兩種導綫匹配的接觸網全套產品。

此後10多年間，中國高鐵不斷擴張。今天，在中國版圖上縱橫交錯的高鐵綫路總長已超過3.79萬公裏，這些綫路其中一半是在最近5年完成的。

高鐵開多遠，導綫就有多長。在今天的中國，高鐵接觸網導綫的總長，差不多可以繞地球赤道一圈。

“可以說，我們研發的鎂銅導綫和鎂銅導綫支撐了我國高鐵的建設。”王立天說。這支團隊研發的系列導綫產品已在京滬、武廣等30多條綫路上使用，覆蓋運營里程超過1.3萬公裏，影響着三分之一中國高鐵的運行。2010年至今，因國產化替代減少工程造價逾100億元。

自京滬高鐵開始，中國高鐵牽引供電技術實現了完全自主創新和技術裝備產品國產化。

2020年，王立天的團隊憑借“高速鐵路用高強高導接觸網導綫關鍵技術及應用”項目，獲得了國家科技進步二等獎。

按照京滬綫測算，使用鎂銅導綫全生命周期的成本，祇有鎂銅導綫的一半。

繁忙的京滬綫把80%以上的綫路鋪在橋上，讓列車跨越山河湖海和人口稠密的都市，串起中國經濟最活躍城市間的黃金通道。

某種意義上，這根導綫牽引着一個加速奔跑的國家。

在幅員遼闊的中國，高鐵穿過崇山峻嶺、城鎮村莊，一天之內就可能經歷烈日風雪、四季變換，全程必須保證持續安全的電力驅動。

“子彈頭”列車上的乘客其實是在陸地飛行，高鐵在幾分鐘內就能提速到飛機飛行的速度。

據王立天介紹，對這根導綫的研究一直在持續。新一代鎂銅導綫的導電率和強度再次刷新了世界紀錄，且更節能、成本更低，已經爲發展時速400公裏以上的高速鐵路提供了技術支撐。

近幾年，王立天主持研發了高鐵接觸網的防雷系統，眼下正着手研究用于接觸網施工、維修的智能機器人，總之，要想盡一切辦法守好這根“高鐵生命綫”。

多年後，他仍不時想起那個年輕人退出時的發問，“我們中國人能幹出來嗎？”

他說，自己內心的答案一直沒變。

不過，這個世界上最大強度和張力的接觸網依然有脆弱的時候。儘管每年耗費了大量的人力物力，但依然無法避免一些五花八門的入侵者的威脅。人們嘗試用閃光燈或者噪音嚇過鳥兒，祇起到短暫的效果。

王立天說，有國外同行曾嘗試用大風扇把鳥窩從接觸網上吹走，可鳥類是天生的建築專家，它們搭的窩非常符合工程力學，“10級大風都吹不垮”。拆除這些鳥窩需要一筆不小的花費。工人祇能在斷電停運時幹活兒，根據測算，平均每拆一個鳥窩的成本在千元左右。

在更高的車速區間內，這些工程師戰勝了空氣，但對於鳥類的挑釁，科學暫時無可奈何。