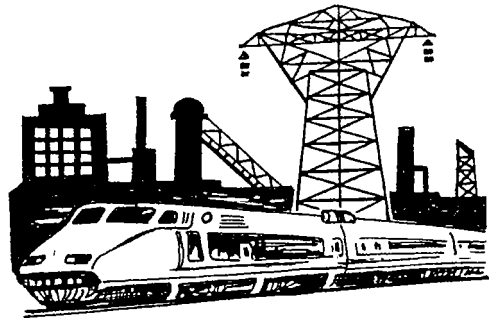


铁路提速与弯道向心力

吴雁平 刘朝英

2004年4月,全国铁路实现了自1994年以来的第五次大面积提速,时速160千米及其以上的线路达到7700千米。今年还将实施第六次大面积提速,部分提速干线列车时速可以提高到200千米,相当于F1赛车多数情况下的平均速度。



对此我们都有切身体会。当乘坐的汽车左转弯时,此时如紧靠车厢右壁,可感觉到身体在使劲挤压车厢壁,是车厢壁给人的反作用力与座位给人的静摩擦力合起来提供向心力。如未靠车壁,只能由座位给人的静摩擦力提供向心力。

速度,就是效益,就是竞争力,是交通运输现代化最重要的表现。发展高速铁路是当今世界各国铁路交通发展的潮流与主导趋势。但是制约铁路提速的众多因素中,最重要的一条竟是“弯道”。据郑州铁路局报道:为了列车的安全和平稳,需对7000多千米铁路线上的弯道一一进行调整,将小半径曲线线路全部改造成大半径曲线或直线线路,同时调高曲线外轨。在去年第五次大提速之前,仅郑州铁路局管理的路段内就改造弯道1000多处。仅此一项就可看出,铁路的大面积提速,对中国而言是一个浩大工程。弯道,成为制约速度提升的瓶颈。

当车速较大时,若静摩擦力不足以提供所需的向心力时,人就会滑离座位。

训练有素的运动员也会利用力学的规律为自己赢得胜利。这是我们在田径场上经常见到的一幕:当进入弯道时,只见运动员以髋部带动身体向内倾斜,摆臂幅度右大于左,两脚的着力部位左脚用前脚掌的外侧,右脚用前脚掌的内侧,跑得越快则向内倾斜越大。这样做目的只有一个,利用身体倾斜来获得地面产生的横向摩擦力所提供的向心力,从而能以较快的速度跑过弯道。

由力学知识,当物体作曲线运动时。向心(或法向)加速度 a_n 的大小与速度的平方成正比,而与曲线的曲率半径 ρ 成反比,即 $a_n = v^2/\rho$ 。根据牛顿运动定律,力是改变运动状态的原因,即力是产生加速度的原因。所以做曲线运动的物体都受到指向曲率中心的向心力作用,即 $F_{\text{向}} = ma_n = m v^2/\rho$ 。

当今世界上最具挑战性、最刺激的运动项目,莫过于F1赛车比赛了。一辆辆赛车在曲折的赛道上风驰电掣般你追我赶,真令观众心惊肉跳。

我们还是来看看新近建成的上海国际赛车场赛道的有关档案吧:在5000多米的单圈长度上,竟布置了左、右拐14个弯道,弯道曲线最大半径120米,最小半径只有8.8米,而赛车的平均速度为205千

(如炎症组织中伴有酸中毒现象时,超声波可使pH值向碱性方面变化,从而使症状减轻,有利于炎症的修复)、对酶活性的影响(如超声波作用能使关节内还原酶和水解酶活性增加,目前认为在超声治疗作用中水解酶活性的变化是起重要作用的)。治疗剂量超声波可增强生物膜弥散过程,促进物质交换,继而加速代谢、改善组织营养,对病变组织有促进其恢复的作用。超声波可提高半透膜的渗透作用,有利营养物质进入细胞内,同样可使药物更易进入病体内,增强药物的杀菌效能。

度升高、细胞功能受到刺激、血液循环增进、组织软化、化学反应加速、新陈代谢增加。超声波还能使复杂的蛋白质解聚为普通的有机分子,能影响到许多酶的活性,使蛋白分子和各种酶的功能受到影响,pH值发生变化,生物活性物质含量发生改变等。三种作用有机结合,并通过复杂的神经-体液途径产生治疗作用,其中神经系统的反应和调节在超声波的治疗机理中起主导作用,而超声作用过程中发生的体液方面的改变,又是作用的物质基础,二者有机结合,构成统一的反应过程。

总之,超声波的机械作用、热作用和理化作用,使局部组织细胞受到微细按摩、局部组织分层处温

(贵州省兴义市黔西南民族职业技术学院医药系 562400)

米/小时,最高允许时速达 327 千米/小时。

赛车过弯道的向心力显然是靠车与地面的摩擦力来提供的。如正压力等于车重,当车速较高时,摩擦力远远满足不了安全通过弯道的需要。设计者在这里运用空气动力学的知识做了精心设计。除车体本身的流线型设计和底盘的导流板能产生下压力外,还在车的前、后安装了定风翼。定风翼如同倒装的飞机机翼,机翼产生上升力,而定风翼在赛车高速奔驰时产生的是下压力。

弯道,也是对车手赛车驾控技术最严格的考验。为顺利通过弯道,车手只有重踩刹车,将车速由高速降到 2 档以下,设赛车过最小弯道($R=8.8$ 米,又称夹弯)时车速为 70 千米/小时,不难算出车手此时的向心加速度是重力加速度的 4.38 倍,即 $a_n=4.38g$,车手所承受的向心力也高达其体重的 4.38 倍,犹如瞬时对车手的颈部肌肉加上了约 35 千克的侧向负荷。这对一般人来说,绝对是难以承受的;只有经过长期训练,才能有如此大的抗荷耐力。

能够驾驭 F1 赛车,特别是每年的参赛者,不但要有精湛的驾驶技术,更要具备良好的心理素质和超人的体魄。所以当听说 FIA(国际汽车联合会)颁发的 F1 赛车特别驾照的获得者,全球只有百十来名,也就不足为奇了。

话题还是回到铁路提速上吧。

旅客乘坐火车,要求的是舒适和安全,而不会要求享受 F1 赛车手“超速感应的刺激”。所以对弯道向心力一定要有严格控制。列车通过弯道时的向心力主要是通过提高弯道外侧钢轨的高度,利用外轨超高,使车体向弯道内侧倾斜而获得。如图所示,设左右车轮滚动圆间距离为 S 、外轨超高为 h 、车重为 G 、轨道支承力为 N ,它们的合力(即列车转弯时的向心力) $F=G\tan\alpha$ 。因为 $\sin\alpha=h/S$,当 α 较小时, $\tan\alpha\approx\sin\alpha$,所以

$$F = Gh/S \quad (1)$$

因此向心加速度

$$a = gh/S \quad (2)$$

还可推出弯道半径

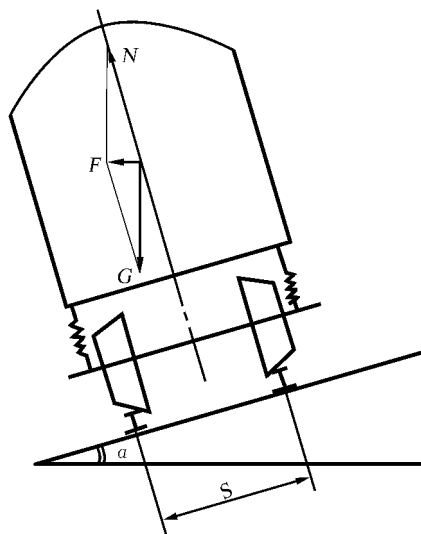
$$R = V^2 S/(gh) \quad (3)$$

在客货混运的普通线路上,为了保证运行速度较慢的货物列车的安全,更要保证列车在曲线上停车时决不能向内侧倾覆,我国铁路干线规定,最大允许超高为 150 毫米。

在外轨超高极限值的限制下,当较高速度的列车通过弯道时,外轨超高所能提供的向心力显然不能满足列车转弯实际需要的向心力,它们之差称“未平衡的向心力”(有时干脆直接称它为“未平衡的离心力”,相应地将对应的加速度,称为“未平衡的离心加速度”,用 a_1 表示)。通过对乘客舒适度的反复实验,我国铁路设计标准规定,通过弯道时未平衡的离心加速度最大不能超过 $0.077g$ 。将这个加速度值折算成外轨超高可能更容易理解。取 $S=1.5$ 米,将 $a_1=0.077g$ 代入(2)式,算出相当高度 $h_1=116$ 毫米,并形象地称此高度为“欠超高”。我国铁路干线规定最大允许欠超高为 110 毫米。

“欠超高”实质就是将外轨超高后所提供向心力不足的部分,利用列车轮轨之间尤其是外侧轮轨之间的横向作用力来补充,而对车内旅客则是利用人与地板或座位间的摩擦力来提供。所以在计算最小弯道半径的公式中,超高 h 是取实际外轨超高 h_0 与欠超高 h_1 之和。如取 $h=h_0+h_1=250$ 毫米、车速 $v=300$ 千米/小时,代入(3)式,可算出对应弯道最小半径 $R_{\min}=4250$ 米。我国铁路干线弯道半径一般是 800~1000 米左右,所以在铁路提速前要对旧线进行大规模改建。

目前我国铁路已实现的提速基本上都是在既有线路上进行的。由于我国很多地区多山,弯道多、半径小,如仅靠改造线路提速将非常艰难。一些发达国家,正在快速发展一种新型的铁路客运装备,当列车经过弯道时,车厢能利用惯性自动倾斜,以补充所需的向心力;既能以较高速度通过弯道,又能有效保证列车运行的平稳性,这就是通常所说的高速摆式



黑洞及其视界附近的物理规律

刘晓军

人类对黑洞的认识过程

在 1796 年,法国天文学家拉普拉斯在他的著作《宇宙体系论》中就预言:如果它引力足够强,光速也不足以成为逃逸速度的话,我们可能会看不见它。宇宙中最大的天体可能是完全看不见的,这种观点是建立在牛顿引力理论基础上的,当时没有任何办法能够验证他的想法。直到 100 年后,爱因斯坦发表了广义相对论,它在基本概念上与牛顿引力理论完全不同。在广义相对论中,空间和时间构成了一个四维时空,时空的几何性质与物质,通过爱因斯坦引力方程联系起来,物质是引力的源,也决定了时空的弯曲。

广义相对论发表后不久,德国天文学家史瓦西立即对球对称的情况求出了爱因斯坦引力方程的解。按照这个解,质量为 M 的不旋转的球形天体存在一个临界半径 R_g , 半径内外时空性质迥然不同,而 R_g 定义为引力半径或史瓦西半径。同以前的拉普拉斯一样,他也不知道这种天体是否真地存在。这个问题直到 1939 年才得到证明,当时奥本海默和一个学生共同证明:一颗冷却的、质量非常大的恒星,理论上必然要无限坍缩而变成黑洞,即黑洞可能是真实的天体。

黑洞的形成

目前认为黑洞是质量达太阳数十倍的巨型星球在其生涯的最后一刻发生大爆炸后形成的。在恒星内部的高温高压条件下,原子核进行着强烈的聚变反应,这种热核反应释放出来的核能与聚向中心的引力相抗衡,使恒星维持着稳定的状态,同时向外界辐射出巨大的光能和热能,时间长达几十亿、几百亿年。但稳定的热核反应不可能永远持续,当热核反应不能稳定进行时,恒星就走向毁灭。

衰老的恒星如何演变,取决于剩下的星核的质量。其中,小质量和中等质量星核的恒星将成为白矮星;而当剩下的星核的质量达到太阳质量的 1.4

倍时,其引力足以把星核内的原子压缩到使电子和质子结合成中子的程度,此时星核就成了一颗中子星;而当星核质量超过太阳质量的 2~3 倍时,再不会有任意力能够与引力抗衡,星体将不可避免地一直坍缩下去——理论上,最后成为体积为零、密度无穷大的点。

需要说明的是,以上黑洞的形成过程目前还只是天体物理理论的一种推测。

史瓦西半径 任何天体都存在一个临界半径,即史瓦西半径 R_g 。在 R_g 的里面,时空弯曲得非常厉害,以致光都不能逃逸出来。按照狭义相对论:光速是任何物体可能达到的最大速度,因此也就没有任何别的物体能从史瓦西半径以内的区域逃出。史瓦西半径的数学表达式为

$$R_g = 2GM/c^2 \quad (1)$$

其中 c 为光速, G 为牛顿万有引力常数, M 为质量。从这个数学表达式,我们可以看到史瓦西几何所具有的普遍性,因为它与恒星的类型无关,而只依赖一个参数——质量。因此按照公式(1)可以计算任何一个球形天体的史瓦西半径的大小,比如太阳。像太阳这样质量的恒星,带入公式后算出史瓦西半径大约为 2.95 千米,即如果太阳被压缩进直径 5.9 千米的球内时,它将成为黑洞。而地球若成为黑洞,则地球上的一切物质,包括大气、海洋、山脉、河流和一切生物,要全部压缩到直径为 1 厘米的小球内。

视界 视界是黑洞的边界,是黑洞表面距离中心半径为 R_g 的一个球面。因此它的半径依赖于黑洞的质量。视界是时空的分界,它将所有事件分为两类。在视界以外,可以由光信号在任意距离上相互联系,这就是我们所居住的正常宇宙;而在视界以内,光线并不能自由地从一个物体传播到另一个物理,而是朝向中心集聚。而且进入视界的外来辐射也将继续进入黑洞,而不可能被反射出去。

奇点 用视界包围的质量和体积计算的平均密

度,随着坍缩而无限增大,以致在有限时间内,列车。这种列车目前在我国还处于试验运行阶段。

为使列车快速通过弯道,工程技术人员遵循力学规律,做出了许多努力。力学知识对工程技术的

发展起着重要的作用,在飞速发展的科技新时代,力学更有着广阔的用武之地。

(河南郑州铁路职业技术学院力学教研室 450052)

现代物理知识