

铁路用钢轨典型标准的性能指标和 检验方法对比分析

边影¹, 薛虎东^{1,2}, 赵桂英¹, 李斌¹, 彭飞³, 苏航¹

1. 内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心, 内蒙古 包头 014010;
2. 西南交通大学机械工程学院, 四川 成都 610031;
3. 内蒙古包钢钢联股份有限公司化检验中心, 内蒙古 包头 014010)

摘要: 文章介绍了《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)、欧标 EN 13674 - 1:2011 + A1:2017 与铁标 TB/T 2344.1—2020 钢轨标准现状, 重点对比分析了三个标准钢轨断面、成分、性能及检验方法的差异。分析结果表明, 由于国内外标准层次、体例的不同, 三个标准对于钢轨的技术要求差异较大。通过对比这些差异, 充分了解了国内钢轨出口水平, 为国内钢轨推向国际市场创造了条件。

关键词: 技术标准; 成分范围; 检验方法

中图分类号: U213.4 - 65

文献标识码: B

文章编号: 1009 - 5438(2024)03 - 0075 - 06

Comparative Analysis on Property Indexes and Test Methods of Typical Standards for Railway Rail

Bian Ying¹, Xue Hu - dong^{1,2}, Zhao Gui - ying¹, Li Bin¹, Peng Fei³, Su Hang¹

1. Technical Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China;
2. School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, Sichuan, China;
3. Chemical Inspection Center of Inner Mongolia Baotou Steel Union Co., Ltd., Baotou 014010, Inner Mongolia Autonomous Region, China)

Abstract: In this paper, it is introduced the current situations of such rail standards as AREMA Railway Engineering Maintenance Manual(2020), European Standard EN 13674 - 1:2011 + A1:2017 and China Railway Industry Standard TB/T 2344.1—2020 as well as mainly compared and analyzed the differences of cross section, compositions, properties and test methods for rails satisfied the above three standards. The analysis results showed that the differences of technical requirements for rails satisfied the above three standards were greater due to the level and style of domestic and foreign standards were different. The export level of domestic rails is fully known by comparing these differences, which creates conditions for exporting domestic rails to the international market.

Key words: technical standard; composition range; test method

欧美铁路货运系统经过 200 年的发展,已经成为世界上最为成熟的铁路货运系统。作为铁路货运系统的重要承载部件,钢轨一直受到铁路部门的高度重视,欧洲 EN 13674 标准和《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)(简称美标)对钢轨制定了详尽的技术条件。相比客运系统,美国货运铁路网更发达。铁路运输是美国铁路货物运输的重要方式,美国铁路大部分货车载重已达到 70~100 t,牢固地确立了在货运市场中的地位。美国铁路钢轨标准由美国铁路工程和保养协会(AREMA)组织制定,每隔几年要对其内容进行确认或修订^[1]。经过几十年的发展,北美铁路取得多项科技成果,特别是在重载运输管理体系、基础设施的配置及标准、维修养护技术和养护模式、动态与静态监测和检测技术等方面,有许多成功的经验,值得我国学习和借鉴。

据报道^[2],2023 年,我国铁路完成固定资产投资 7 645 亿元,同比增长 7.5%,投产新线路 3 637 km,其中高铁 2 776 km。截至 2023 年底,全国铁路运营里程达到 15.9 万 km,其中高铁达到 4.5 万 km,居世界第一位。我国铁路的高速发展得益于在铁路建设方面取得的包括钢轨在内的多项处于世界领先水平的有自主知识产权技术的大规模应用。我国铁道行业标准 TB/T 2344 在制定和修订过程中借鉴了欧洲 EN 13674 标准和《AREMA 铁路工程保养手册》,并结合国内铁路实际情况相应调整了钢轨部分性能指标和检验项目,最新标准已更新到 TB/T 2344.1—2020 版本。

上述三个标准在钢轨国际市场上的认可度高,分析了解三个标准之间的区别对于开发新产品,开拓国际市场,提高市场占有率有现实意义。

1 国内外典型标准对比

本文将我国 TB/T 2344.1—2020《43 kg/m~75 kg/m 钢轨》、欧洲 EN 13674-1:2011+A1:2017《46 kg/m 及以上 T 型钢轨》《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)三个标准中有关铁路用钢轨牌号、钢轨断面、强度级别与检验方法等方面进行对比分析。

1.1 主要牌号、断面对比

欧洲钢轨标准是当今世界上最为先进的钢轨标准之一,欧洲钢轨标准 EN 13674《46 kg/m 及以上 T 型钢轨》,于 1994 年提出初稿,2003 年正式颁布实施,分别于 2007 年、2011 年和 2017 进行了三次修

订,目前有效版本为 EN 13674-1:2011+A1:2017^[3]。

欧洲 EN 13674-1:2011+A1:2017《46 kg/m 及以上 T 型钢轨》提出了 9 种不同牌号钢种(R200、R220、R260、R260Mn、R320Cr、R350HT、R350LH、R370CrHT、R400HT)、规定了 23 种断面类型、2 种断面公差和 2 种平直度等级,适用于普速铁路和高速铁路钢轨。碳素钢轨、合金钢轨均可以作为热处理钢轨的原料,普通线路上铺设碳素钢轨 R200、R220、R260、R260Mn,重载线路或曲线上铺设 1 080 MPa 级的合金轨 R320Cr、1 180 MPa 级的热处理钢轨 R350HT、R350LHT 和 1 280 MPa 级的 R370CrHT、R400HT 热处理钢轨。涉及断面共 23 种,分别为 46E1、46E2、46E3、46E4、49E1、49E2、49E5、50E1、50E2、50E3、50E4、50E5、50E6、52E1、54E1、54E2、54E3、54E4、54E5、55E1、56E1、60E1、60E2。

美国铁路工程和保养协会 AREMA(American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association,简称 AREMA)钢轨标准是行业通用技术标准,根据会员单位的意见制定,在 2020 年修订的版本中,共纳入了 6 个牌号钢轨,分别是 SS、IS、HH 三种普通碳素钢轨以及 LA、IH、LH 三种低合金钢轨,断面分 7 种,分别为 115RE、119RE、132RE、133RE、136RE、140RE、141RE。

我国铁标 TB/T 2344.1—2020《43 kg/m~75 kg/m 钢轨》^[4]适用铁路用热轧钢轨和在线热处理钢轨,TB/T 2635—2004《热处理钢轨技术条件》规定了在线和离线热处理钢轨的技术要求,后来由于原铁道部运输局工务部规定,取消使用离线热处理钢轨而自行废止,在线热处理钢轨相关技术要求全部纳入 TB/T 2344.1—2020 中。铁标 TB/T 2344.1—2020 共涉及 U71Mn、U75V、U77MnCr、U78CrV、U76CrRE 5 个钢轨钢种,轨型分为 43 kg/m、50 kg/m、60 kg/m、75 kg/m。

1.2 主要成分对比

在《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)中钢轨分为碳素钢轨和低合金钢轨,碳素钢轨不同强度级别共用一个化学成分范围;低合金钢轨根据硬度级别对应划分化学成分,三个牌号对应两个化学成分。针对不同强度等级的碳素钢轨,并未进行较细的划分,但对于 P、S 元素含量的上限要求比较严格,最大值均要求小于 0.02%。而在欧标及铁标中,对不

同碳素钢轨的成分范围作出了不同的规定。低合金钢轨主要在欧标和美标中有要求,目前铁标中暂未提及低合金钢轨。本文对欧标和美标的低合金钢轨进行比较,标准中除包含 C、Si、Mn 元素外,还包含

了较高含量的合金元素 Cr、V、Cu、Ni。其中欧标中对 Si 和 Cr 元素含量要求较为严格,在美标中则对 Cu 元素要求较为宽泛。具体成分对比见表 1、表 2。

表 1 美标、欧标、铁标碳素钢轨化学成分对比(质量分数)

标准	钢轨牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	Ni
AREMA	SS、IS、HH	0.74~0.86	0.10~0.60	0.75~1.25	≤0.020	≤0.020	≤0.30	≤0.010		≤0.25
	R200	0.40~0.60	0.15~0.58	0.70~1.20	≤0.035	≤0.035	≤0.15	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	R220	0.50~0.60	0.20~0.60	1.00~1.25	≤0.025	≤0.025	≤0.15	≤0.030	≤0.15	≤0.10
EN 13674-1; 2011+A1:2017	R260	0.62~0.80	0.15~0.58	0.70~1.20	≤0.025	≤0.025	≤0.15	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	R260Mn	0.55~0.75	0.15~0.60	1.30~1.70	≤0.025	≤0.025	≤0.15	≤0.030	≤0.15	≤0.10
TB/T 2344.1—2020	R350HT	0.72~0.80	0.15~0.58	0.70~1.20	≤0.020	≤0.025	≤0.15	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	R400HT	0.90~1.05	0.20~0.60	1.00~1.30	≤0.020	≤0.020	≤0.30	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	U71Mn	0.65~0.76	0.15~0.58	0.70~1.20	≤0.030	≤0.025	≤0.15	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	U75V	0.71~0.80	0.50~0.80	0.75~1.05	≤0.030	≤0.025	≤0.15	0.04~0.12	≤0.15	≤0.10
	U77MnCr	0.72~0.82	0.10~0.50	0.80~1.10	≤0.025	≤0.025	0.25~0.40	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	U78CrV	0.72~0.82	0.50~0.80	0.70~1.05	≤0.025	≤0.025	0.30~0.50	0.04~0.12	≤0.15	≤0.10
	U76CrRE	0.71~0.81	0.50~0.80	0.80~1.10	≤0.025	≤0.025	0.25~0.35	0.04~0.08	≤0.15	≤0.10

表 2 美标、欧标低合金钢轨化学成分对比(质量分数)

标准	钢轨牌号	C	Si	Mn	P	S	Cr	V	Cu	Ni
AREMA	LA	0.72~0.82	0.10~0.50	0.80~1.10	≤0.020	≤0.020	0.25~0.40	≤0.010	≤0.40	≤0.15
	IH、LH	0.72~0.82	0.10~1.00	0.70~1.25	≤0.020	≤0.020	0.40~0.70	≤0.010	≤0.40	≤0.15
EN 13674-1; 2011+A1:2017	R320Cr	0.60~0.80	0.50~1.10	0.80~1.20	≤0.025	≤0.030	0.80~1.20	≤0.180	≤0.15	≤0.10
	R350LHT	0.72~0.80	0.15~0.58	0.70~1.20	≤0.020	≤0.025	≤0.30	≤0.030	≤0.15	≤0.10
	R370CrHT	0.70~0.82	0.40~1.00	0.70~1.10	≤0.020	≤0.020	0.40~0.60	≤0.030	≤0.15	≤0.10

通过对比碳素钢轨钢种、牌号发现,不同种类碳素钢轨中 C 元素含量宽窄程度有所区别,铁标对钢轨中 C 元素含量要求最为严格,所给定的成分波动范围在 0.1 个百分点左右,这就对钢轨的生产工艺提出了很高的要求,而相对于铁标来说,欧标和美标所要求的 C 元素含量范围比较宽泛,成分波动在 0.2 个百分点左右,这在生产过程中降低了控制难度,更容易实现。

在对比低合金钢轨牌号过程中发现,国内低合金钢轨暂未有相关标准,主要在合金元素 Cu、Cr、Ni 元素的使用上存在较为严苛的限制。目前只有欧标与美标对低合金钢轨进行了要求。

1.3 主要性能对比

在欧标、铁标、美标中,不同钢轨状态对屈服强度、抗拉强度、延伸率、踏面硬度有不同的要求。1996 年以后,美标的钢种开始发生变化,不断提高钢轨的硬度和强度。标准中先后纳入普通碳素钢、微合金钢和低合金钢钢轨及相应的在线热处理钢轨。《AREMA 铁路工程保养手册》不同版本中钢轨硬度、强度、断后伸长率要求都不断提高。钢轨的屈服强度作为铁路强度检算的重要依据,在《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)中特别要求了钢轨的屈服强度,而在铁标 TB/T 2344.1—2020 及欧标 EN 13674-1:2011+A1:2017 未对屈服强度提出要求,具体性能要求见表 3。

表 3 美标、欧标、铁标钢轨性能对比

标准	钢轨状态	钢轨牌号	$R_{p0.2}/\text{MPa}$	R_m/MPa	$A/\%$	踏面硬度(HB)
EN 13674 - 1; 2011 + A1;2017	热轧	R200		≥ 680	≥ 14	200 ~ 240
		R220		≥ 770	≥ 12	220 ~ 260
		R260		≥ 880	≥ 10	260 ~ 300
		R260Mn		≥ 880	≥ 10	260 ~ 300
		R320Cr		$\geq 1\ 080$	≥ 9	320 ~ 360
	热处理	R350HT		$\geq 1\ 175$	≥ 9	350 ~ 390
		R350LHT		$\geq 1\ 175$	≥ 9	350 ~ 390
		R370CrHT		$\geq 1\ 280$	≥ 9	370 ~ 410
		R400HT		$\geq 1\ 280$	≥ 9	400 ~ 440
		热轧	SS	≥ 510	≥ 980	≥ 10
AREMA	热处理	IS	≥ 723	$\geq 1\ 065$	≥ 10	≥ 350
		HH	≥ 820	$\geq 1\ 180$	≥ 10	≥ 370
	热轧	LA	≥ 510	≥ 980	≥ 10	≥ 310
		IH	≥ 550	$\geq 1\ 010$	≥ 8	≥ 325
	热处理	LH	≥ 820	$\geq 1\ 180$	≥ 10	≥ 370
		热轧	U71Mn		≥ 880	≥ 10
TB/T 234.1—2020	热轧	U75V		≥ 980	≥ 10	280 ~ 320
		U77MnCr		≥ 980	≥ 9	290 ~ 330
		U78CrV		$\geq 1\ 080$	≥ 9	310 ~ 360
	热处理	U76CrRE		$\geq 1\ 080$	≥ 9	310 ~ 360
		H320(U71Mn)		$\geq 1\ 080$	≥ 10	320 ~ 380
		H340(U75V)		$\geq 1\ 180$	≥ 10	340 ~ 400
		H370(U78CrV)		$\geq 1\ 280$	≥ 10	370 ~ 420

通过对比不同种类钢轨标准中抗拉强度、断后伸长率和轨头踏面硬度的要求得出,铁标中的U71Mn钢种与欧标R260钢种性能要求基本相当,踏面硬度(HB)要求在260~300之间,而在美标中,所要求的钢轨最低踏面硬度(HB)为310。由此可见,在美标中,对碳素钢轨踏面硬度有着更为严苛的要求,同时在钢轨拉伸性能上要求了较高的屈服强度和抗拉强度。

1.4 组织对比

TB/T 2344.1—2020、《AREMA 铁路工程养护手册》(2020)、EN 13674 - 1:2011 + A1:2017 标准中规定了钢轨的显微组织以珠光体为主,可以存在少量的铁素体,但是不允许存在贝氏体和马氏体组织。考虑到珠光体组织的片层间距对于钢轨机械性能影响较大,目前,在欧标和美标中,已逐渐增加新的要求,允许通过增加钢中合金元素的含量、或改变

钢轨冷却速度的方式来减小钢轨的片层间距,从而达到细化晶粒、提高钢轨抵抗塑性变形和断裂的能力。

2 检验方法对比

2.1 横断面硬度检测方法对比

对比欧标、美标和铁标可知,钢轨在轨面硬度检验方法上流程基本相同,但在不同标准中,检测位置、测试方法存在差异。铁标要求在测定钢轨横断面硬度时,间隔5 mm由表及里测定钢轨A、B、C、D、E线的硬度。《AREMA 铁路工程养护手册》(2020)则规定在测定钢轨横断面硬度时,由表及里间隔不超过3 mm测定1、2、3线的硬度及4、5点的硬度。在欧标中,其横断面硬度针对热处理钢轨进行规定,要求 $HBW2 > HBW3 + 0.4(HBW1 - HBW3)$,并且要求3条测试线(OB1, OA1及OC1线段)上的任意

2个硬度测试点间的硬度值差不得大于30,具体检测位置见图1。此外对比三种洛氏硬度测试发现,标准对所有测试点均给出最低值要求,在TB/T 2344.1—2020中,只规定了每条线首尾2个点的硬度值,未明确规定每条线相邻2个点间硬度值差^[5];在《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)中,对于横

断面硬度只规定了1、2、3线上15 mm部位以及4、5点硬度的最小值,未明确规定其他部位硬度值。同时,在美标和欧标钢轨横断面硬度检验中,以布氏硬度检测结果为验收标准,而在铁标中,则要求以洛氏硬度为验收标准。

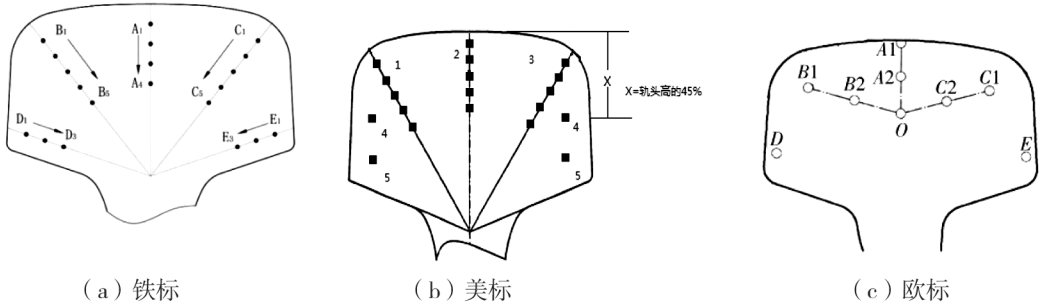


图1 不同标准洛氏硬度检测位置

2.2 拉伸性能检测方法对比

钢轨的拉伸性能是检验钢轨强度的重要指标,因此,在国内外标准中均对钢轨的拉伸性能提出了检验要求。在美标、欧标、铁标中,其检验过程基本相同,但对于试样的取样位置及尺寸有所区别。在《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)中,规定拉伸取样位置位于轨头轨距角,试样中心距轨侧及轨顶13 mm,试样直径为12.7 mm;在欧标和铁标中,要求拉伸取样位置在距轨侧及轨顶10 mm处,试样直径为10 mm,具体取样位置见图2。

锯切后测量两孔之间的垂直距离不得超过3.75 mm,如图3所示。铁标TB/T 2344.1—2020和欧标EN 13674-1:2011+A1:2017中采用贴片法,测量时选取1 m长钢轨试样,首先把电阻应变片贴在轨底面上,然后将贴有应变片的部分两边切断,使其与原钢轨分离,锯切厚度为20 mm,再次测量应变值,将第一次应变值与第二次释放的应变值之差乘以 2.07×10^5 MPa可得轨底残余应力,测得轨底纵向残余应力不大于250 MPa,如图4所示。

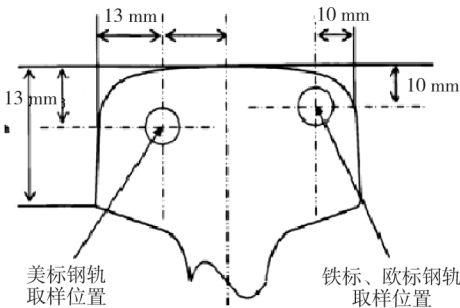


图2 不同标准钢轨取样位置示意图

2.3 残余应力检测方法对比

在铁标和欧标中,测试钢轨残余应力使用的是贴片法,而在美标中,测试残余应力采用切口法,两者在测试方法上有很大的不同。《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)中采用的切口法,选取钢轨端部600 mm位置,在钢轨的横断面中心线的垂直方向上冲出两个圆锥孔,并标记两孔之间的最初距离,

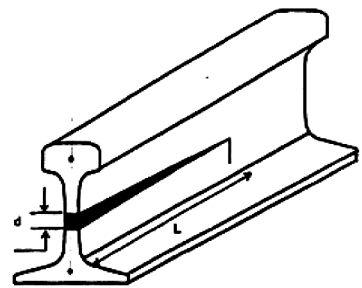


图3 切口法测量残余应力示意图

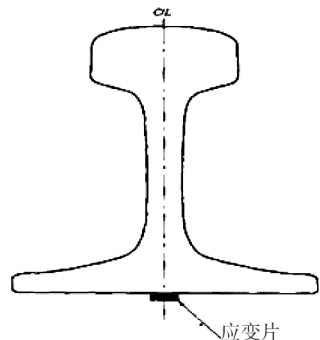


图4 贴片法测量残余应力示意图

3 结束语

世界各国根据线路条件、运营情况的不同,不同标准在性能检验方面会有一定差异。我国制定的普速铁路用 TB/T 2344—2020 钢轨标准,虽在各项技术指标上相对而言较为宽松,但总体上已经非常趋近于高速铁路用钢轨标准,这也体现出我国钢轨标准随着铁路和冶金行业的发展而不断更新,逐渐迈向更高的台阶。通过对《AREMA 铁路工程保养手册》(2020)、欧标 EN 13674 - 1:2011 + A1:2017、铁标 TB/T 2344. 1—2020 三个标准对比分析发现,不同标准的钢种、牌号和断面是多样的,不同类型的钢轨可以应用的场合不同,可以根据施工使用目的不同更加灵活地选用不同的断面。在成分设定方面,美标在 P、S 元素方面相对欧标、铁标要求要高,同时国外标准中允许加入一些 Cu、Ni 等合金元素形成低合金钢轨,但目前铁标中还未涉及此类钢轨。铁标钢轨在性能检验方面与欧标钢轨存在很多相似

之处,可以与欧标钢轨检验接轨;但美标钢轨与铁标钢轨在性能检验方面存在一定差异,需要进一步对标,力争将国内更多品种的钢轨推向美洲市场。

参 考 文 献

- [1] 张银花,周清跃,陈朝阳,等. 北美重载铁路钢轨技术及发展趋势[J]. 铁道技术监督,2015(43):1-6.
- [2] 罗忠河. 国铁集团计划投产新线里程断崖式下降:我国今年铁路建设“钢需”会大降吗?[N]. 中国冶金报,2024-02-27(008).
- [3] EN 13674 - 1:2011 + A1:2017,46 kg/m 及以上 T 型钢轨[S].
- [4] TB/T 2344. 1—2020,43 kg/m ~ 75 kg/m 钢轨订货技术条件[S].
- [5] 张军政. 欧洲标准与我国铁道行业标准在钢轨指标检验上的差异分析[J]. 铁道技术监督,2018,47(10):16-18,21.

(上接第 74 页)

GB/T 8163—2018 中 Q345B、Q345C、Q345D 钢级要求,因此对在线快冷冷却水的大小、钢管的前进速度、终冷温度和性能的匹配有必要进一步研究,从而降低现有钢种合金含量。

4 结论

(1) 试验钢通过在线加速冷却,可一定程度上细化晶粒,增加珠光体含量,提高钢的强度,改善 C - Mn 钢的带状组织。

(2) 试验钢管通过在线加速冷却,奥氏体相变产物为针状铁素体、粒状贝氏体和珠光体。

(3) 试验钢通过在线加速冷却,可提高钢管的强度及冲击韧性,使得 Q345B/C 系列产品采用最为经济的 C - Mn 钢生产,无需添加合金元素,即可保证材料的力学性能满足标准要求,无需后续离线热处理,可进一步降低生产成本。

参 考 文 献

- [1] 袁国,康健,李振垒,等. 热轧无缝钢管在线热处理工艺组织性能调控研发技术进展[J]. 钢管,2018,47(1):30-34.
- [2] 彭龙洲,陈利明,杜新立,等. 简析控轧控冷技术在无缝钢管生产中的应用[J]. 钢管,2013,42(4):56-60.
- [3] 刘晓瑾,康健,李振垒,等. 热轧无缝钢管控制冷却关键技术的开发与工业应用[J]. 轧钢,2022,39(1):9-14.
- [4] GB/T 8163—2018,输送流体用无缝钢管[S].
- [5] 陈思联,惠卫军,邵成伟,等. 控制冷却对中碳高钒非调质钢组织性能的影响[J]. 钢铁,2015,50(8):77-82.